

Nutrition minérale et fertilisation du cocotier dans le monde ⁽¹⁾

R. MANCIOT (2), M. OLLAGNIER (3), et R. OCHS (4)

Résumé. — L'importance relative du cocotier dans la production des corps gras d'origine végétale a diminué au cours des quarante dernières années faute d'efforts suffisants pour améliorer le matériel végétal et pour intensifier les méthodes de culture.

La fertilisation minérale, en particulier, reste encore une pratique exceptionnelle bien qu'il ait été démontré dans de nombreux pays que l'utilisation des engrais était parfaitement rentable même sur du matériel végétal tout venant. Il est vrai que les cocoteraies des grands pays producteurs ont vieilli et qu'elles ont atteint pour une part l'âge auquel la production diminue et auquel l'effet des engrais n'a plus la même intensité. C'est donc plutôt dans le cadre des grands projets actuels de rénovation que la fertilisation peut jouer un rôle considérable en permettant une expression totale du potentiel du nouveau matériel végétal hybride incomparablement plus productif.

Les exportations minérales du cocotier sont dominées par le potassium, le chlore et l'azote. Les réponses à la fertilisation potassique sont d'ailleurs les plus fréquentes car les besoins de la plante n'ont pas souvent l'occasion d'être entièrement satisfaits par les sols tropicaux, en général très pauvres en potassium. Bien que les sols tropicaux soient également très pauvres en azote, les réponses à la fertilisation azotée sont moins fréquentes ; faut-il en conclure que les fournitures occultes par les pluies ou par la fixation d'azote atmosphérique ont été sous-estimées ? Quant au chlore, qui est maintenant considéré comme un élément minéral essentiel pour le cocotier, sa relative abondance dans la nature fait que les déficiences sont en général limitées à des situations particulières protégées de l'influence marine.

Le phosphore, le magnésium, le soufre interviennent également mais ils sont souvent impliqués dans les réponses multiples où l'équilibre des cations et aussi des anions joue un rôle plus important que chez d'autres plantes cultivées. En terme de fertilisation, cette particularité du cocotier renforce l'intérêt qu'il faut porter au choix des sels utilisés comme engrais.

Dans le domaine des oligoéléments, le bore joue parfois, comme pour le palmier à huile, un rôle important au jeune âge, la carence provoquant un arrêt brutal de la croissance ; les carences en fer et en manganèse se rencontrent sur les sols coralliens.

Les déficiences minérales du cocotier sont faciles à corriger. Les fumures sont très rentables et procurent, en général, une plus-value au moins égale à trois fois la dépense consentie lorsqu'elles sont apportées en quantité et en équilibre au voisinage de l'optimum.

L'action rapide des engrais sur l'absorption racinaire a pour effet de rendre le cocotier relativement sensible aux erreurs de diagnostic qu'il est cependant facile d'éviter en utilisant l'analyse foliaire de contrôle et en se référant aux expériences au champ mises en place par la recherche d'accompagnement.

Les besoins en engrais sont très variables en fonction de la qualité des sols utilisés dont la gamme s'étale du plus pauvre sol sableux du littoral aux plus riches sols volcaniques. Ces besoins, souvent dominés par le potassium, peuvent être considérablement réduits par restitution des bourres qui consomment plus de la moitié du potassium absorbé par la plante.

La culture du cocotier, transformée par l'avènement du cocotier hybride, accompagnée par une politique rationnelle de fertilisation est devenue un des meilleurs outils pour le développement et l'amélioration du niveau de vie des petits propriétaires ruraux du monde tropical.

Comparé au palmier à huile, le cocotier commun a toujours fait figure de parent pauvre. Dans les meilleures conditions de culture (rendements de 3 t de coprah/ha) les variétés traditionnelles fournissent 2 t d'huile à l'hectare contre 5 à 6 t pour le palmier à huile. De plus, les plantations, tout en donnant des rendements relativement faibles, ont l'inconvénient majeur d'être peu précoces.

De par sa répartition géographique, couvrant toute la zone intertropicale du globe, le cocotier intéresse une partie importante de la population mondiale pour laquelle il représente la source unique de matière grasse. Au cours des dix dernières années, pendant que la population mondiale augmentait de 25 p. 100, la consommation totale de matières grasses, animales et végétales, augmentait de plus de 35 p. 100, la part du coprah ayant marqué un déclin sensible. Il faut s'attendre, dans les années à venir, à une demande croissante provenant de l'augmentation de la population et espérer une amélioration du niveau de vie des classes défavorisées des pays en voie de développement des régions tropicales.

Le cocotier a donc un rôle important à jouer.

Si les travaux de recherches, tendant à améliorer la productivité de cet oléagineux, ont débuté depuis plusieurs décades (la première station d'amélioration a vu le jour en 1916 à Pilicode aux Indes), ce n'est qu'au cours des deux dernières que des progrès considérables ont été accomplis.

Aujourd'hui, les résultats obtenus montrent que le cocotier est un arbre d'avenir. Grâce à l'utilisation de techniques modernes de culture, il est devenu un oléagineux dont la production d'huile à l'hectare approche celle du palmier à huile (4 à 5 t, le même hectare ne pouvant produire que 2 t d'huile d'arachide ou 0,5 t d'huile de soja) ; en outre, il est bien souvent cultivé sur des sols très pauvres où il ne peut entrer en concurrence avec lui. Enfin, ses exigences climatiques sont moins strictes que celles du palmier à huile ; en particulier des déficits hydriques, moyens à forts, affectent moins ses rendements que ceux du palmier [1].

Cette amélioration des rendements est le résultat de l'appli-

cation d'une série de techniques modernes sans lesquelles aucun haut rendement ne sera obtenu. La nutrition minérale est l'une d'elles.

Et pourtant la fertilisation minérale du cocotier n'est pas encore une pratique courante. Les Philippines, avec plus de 2,7 millions d'ha, ne fertiliseraient que 30 000 ha. En Inde, quelques milliers d'ha de la cocoteraie, qui couvre 1,2 million d'ha, reçoivent une fumure minérale. Il en est de même dans tous les autres pays où le cocotier est cultivé, à quelques exceptions près comme la Côte-d'Ivoire.

Une large vulgarisation des hybrides Nains × Grands, à haut rendement, peut révolutionner la culture du cocotier dans le monde. Mais l'absence de fertilisation minérale empêchera l'expression de leur potentiel, d'autant plus que ces hauts rendements s'accompagnent, bien entendu, d'une augmentation correspondante des exportations d'éléments minéraux du sol.

I. — LE MILIEU

1. — Aire géographique du cocotier.

Arbre le plus cultivé dans le monde, le cocotier se rencontre dans toute la zone intertropicale où ses exigences climatiques sont satisfaites. Considérée comme une source importante d'eau de boisson pour l'homme, la noix de coco a joué un grand rôle dans la dispersion de l'arbre, et c'est pourquoi on le retrouve également dans des zones très marginales où les mauvaises conditions de pluviométrie (îles du Cap Vert) ou de températures (Nouvelle-Calédonie) limitent fortement sa production ; mais dans ces régions son intérêt économique devient nul.

Malgré les plans de développement entrepris en Afrique et en Amérique, le cocotier reste essentiellement une culture asiatique et océanienne. Les Philippines, l'Inde, l'Indonésie, Sri Lanka et la Malaisie groupent à eux seuls près de 7 millions d'ha de cocoteraies, correspondant à 90 p. 100 des surfaces plantées dans le monde.

Le cocotier a des exigences climatiques très voisines de celles du palmier à huile. L'observation des conditions dans lesquelles se développe la culture du cocotier dans le monde et les premiers résultats d'expériences entreprises dans les régions les plus marginales permettent de préciser ces exigences. Le cocotier se développe bien lorsque la pluviométrie est aussi

(1) Communication présentée à la 5^e Session du Groupe de travail FAO sur la production, la protection et le traitement de la noix de coco, 3-8 décembre 1979, Manille (Philippines).

(2) Département Cocotier de l'I. R. H. O. ; 11, Sq. Pétrarque, 75016 Paris (France).

(3) Directeur des recherches à l'I. R. H. O., Paris (France).

(4) Directeur du Département Agronomie de l'I. R. H. O. - IRHO/GERDAT, B. P. 5035 — 34032 Montpellier Cedex (France).

régulière que possible, l'idéal correspondant à 150 mm par mois (5 mm/jour), valeur égale à celle de l'évapotranspiration mensuelle, ce qui équivaut à une pluviométrie annuelle de 1 800 à 2 000 mm. Cependant, ce palmier peut encore se développer normalement en présence d'une pluviométrie plus faible, le déficit hydrique pouvant être compensé par les réserves du sol ou par une nappe phréatique proche. A l'inverse, il faut signaler que le cocotier craint l'excès d'eau.

La température limite également la zone d'extension du cocotier : 27 °C sont considérés comme l'optimum. En dessous de 15 °C, des perturbations importantes interviennent et influent sur la physiologie de la plante. Si la fréquence des basses températures est élevée (Iles Loyauté), des chutes de noix se produisent et les fruits en voie de développement subissent des déformations, provoquant une importante réduction de la production de coprah.

Le cocotier étant cultivé dans des régions bien ensoleillées, il était admis qu'une insolation annuelle de 2 000 h était nécessaire ; mais, dans certaines régions où l'ensoleillement n'est pas supérieur à 1 800 h (Nouvelles-Hébrides), les cocotiers donnent d'excellentes productions dans de bonnes situations pédologiques.

2. — Les sols des régions productrices.

En raison de sa grande faculté d'adaptation, le cocotier se rencontre sur des sols très variés. Ceux-ci peuvent se rattacher à six types principaux :

Sols sableux du littoral.

Ce sont les sables côtiers, très pauvres en matière organique et en colloïdes, à faible capacité de rétention mais compensés par un point de flétrissement très bas qui laisse cependant un domaine d'eau utile parfois supérieur à celui de certains sols argileux (*Rapport d'activités I. R. H. O. 1976-1977*), mais ils ont l'avantage d'être aérés et bien drainés. Ils sont pauvres en éléments minéraux et ont besoin d'une fertilisation adéquate. C'est le type de sol de presque toutes les cocoteraies d'Afrique occidentale et de Madagascar ; on le retrouve aussi en Inde, en Malaisie (côte Est), aux Philippines et dans de nombreuses autres régions.

Sols coralliens.

Les sols coralliens, pierreux ou graveleux, plus ou moins pauvres en matière organique, sont très riches en calcaire. Ces sols couvrent la majeure partie des atolls (Polynésie). Leur fertilité est fonction du taux de matière organique et du degré d'altération ; ils peuvent être recouverts d'une couche plus ou moins épaisse d'alluvions qui les rendent très fertiles (Nouvelles-Hébrides, Iles Salomon).

Sols ferrallitiques.

Riches en hydroxydes de fer et d'alumine, ils résultent d'un lessivage intense de la silice et des bases échangeables. Ils sont souvent carencés en potassium et en phosphore ; leur aptitude à la culture du cocotier dépend de leur degré de concrétionnement (alimentation hydrique).

Sols alluviaux.

Les alluvions fluviales constituent souvent de très bons sols à cocotier. Leur richesse est évidemment fonction de la nature des roches traversées par les rivières qui les ont formées.

Ce type de sol se rencontre fréquemment en Inde dans le delta de Godavari, au Sri Lanka, aux Philippines et au Mexique (Guerrero).

En Indonésie, les alluvions marines (Selangor series) sont favorables à la culture du cocotier.

Sols volcaniques.

Souvent très fertiles, les sols d'origine volcanique se rencontrent surtout en Indonésie (Sumatra, Java, Bali) et aux Philippines.

Sols tourbeux.

Ils couvrent d'importantes surfaces et sont souvent inexploités en raison des problèmes très particuliers qu'ils soulèvent. On y trouve quelques petites cocoteraies mais ils pourraient présenter un potentiel de développement considérable pour l'avenir, à condition d'entreprendre les études nécessaires à leur mise en valeur (carences en K, Cu, B ; pH très acide).

On constate donc que le cocotier s'adapte bien aux sols très diversifiés. Il est très difficile de définir avec précision quel serait le sol idéal, chaque cas pouvant être un cas d'espèce. D'une façon générale, le support physique a autant d'importance que la richesse chimique du sol. En effet, le cocotier

réagit très bien à la fertilisation minérale dont l'investissement reste une contrainte financière abordable, alors que la modification des qualités physiques nécessite quelquefois des dépenses considérables.

Si l'on a souvent observé le cocotier sur les sols sableux, même pauvres, c'est qu'il y trouve un substrat aéré et correctement drainé. Pourtant, il s'accommode de sols sablo-argileux et même très argileux à condition que les remontées ou la stagnation de la nappe phréatique restent à un niveau convenable de 0,90 m [1]. Dans certaines régions, cette profondeur minimale de sol sain permet à l'arbre de mieux résister aux coups de vent. La présence d'éléments grossiers (gravillons ferrugineux) ou d'un horizon compact (dalle corallienne) gêne le développement des racines en profondeur et limite par conséquent les réserves en eau et en éléments minéraux utiles.

Toutes les textures conviennent au cocotier, à l'exception des extrêmes comme les sables purs lessivés, et certains sols très argileux et très compacts.

Le cocotier n'est pas très exigeant sur la valeur chimique des sols. C'est pourquoi les sols les plus pauvres sont souvent plantés de cocotiers parce qu'ils sont peu favorables à d'autres cultures. Signalons que le cocotier supporte des pH de 5 à 8, bien que dans les sols les plus alcalins des déséquilibres nutritionnels provoquent des carences en fer (atolls coralliens).

Dans les sols tropicaux ferrallitiques, généralement désaturés à argile kaolinite, la fertilité dépend essentiellement de la matière organique, qui est souvent localisée dans les 20 ou 30 premiers centimètres.

Les valeurs seuils admises sont les suivantes :

	Niveau inférieur jugé satisfaisant
— C (p. 100)	1
— N (p. 1 000)	1
— C/N	10-12
<i>Complexe absorbant (me/100 g)</i>	
— K	0,15-0,20 0,20-0,50
— Mg } avec Mg/K > 2,5	
<i>Somme des bases échangeables (me/100 g)</i>	
	1
<i>Phosphore</i>	
— P total (ppm)	400
— P Olsen	25
— P Saunders	100

Pour des sols d'origine alluviale ou volcanique, à argiles gonflantes type illite, montmorillonite, plus profonds, on tiendra compte des réserves existant dans les couches profondes, l'arbre ayant, dans ce cas, une masse plus importante de sol à sa disposition. Un sol d'origine volcanique présentant 0,1 me de K jusqu'à 0,8 m aura une qualité chimique en K supérieure à celle d'un sol ferrallitique disposant de 0,2 me de K dans l'horizon superficiel de 0-30 cm seulement.

Dans le tableau I sont données les caractéristiques physiques et chimiques de quelques sols cultivés pour le cocotier.

3. — Nutrition minérale. Méthodes d'étude.

Nathanael [3], en 1958, distinguait trois catégories de méthodes pour étudier la nutrition minérale du cocotier :

— la première consiste à définir les besoins de la plante à l'aide d'expériences agronomiques par approximations successives. La culture du cocotier se prête mal à cette méthode qui, par suite de la faible densité de plantation de cet oléagineux (entre 150 et 180 arbres/ha), conduit à des dépenses élevées d'implantation et de gestion, sans pour cela résoudre tous les problèmes ;

— l'analyse du sol est la seconde méthode préconisée. Elle ne rend pas compte des réactions de la plante et l'interprétation reste toujours délicate ;

— la troisième méthode interroge directement la plante par l'analyse chimique de l'eau de la noix de coco ou l'analyse chimique des feuilles (diagnostic foliaire). L'analyse de l'eau de coco aurait permis à Salgado [4] d'étudier l'effet de la nutrition potassique sur les rendements. Des expériences réalisées en Côte-d'Ivoire ont permis de vérifier qu'il existe bien une analogie entre l'analyse foliaire et l'analyse de l'eau de coco, cette dernière rendant bien compte de l'action importante de la fumure potassique sur les rendements. Cependant, en réduisant le nombre d'arbres échantillonnés, l'analyse de l'eau de la noix présente des variations beaucoup plus fortes que celles de l'analyse foliaire. L'analyse de l'eau exige donc un échantillonnage plus important que celui utilisé pour le diagnostic foliaire, et renseigne avec moins de précision sur l'action des fumures.

C'est pour ces raisons que l'analyse de l'eau de coco n'a pas pris le relais de l'analyse foliaire.

TABLEAU I. — Caractéristiques physiques et chimiques de quelques types de sols à cocotier
(Physical and chemical characteristics of a few types of coconut soils)

Pays (Country)	Situation Série (s)	Profon- deur (Depth)	Granulometrie (Grain size distribution) (*)						Matière organique (Organic matter)		Cations échangeables me/100 g							pH eau (water)	Éléments totaux (Total elements)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
			p. 100 Terre fine (fine particles)						C	N	Ca	Mg	K	Na	Somme (Sum)	C. E. C	P		Fe	Mn	S	B																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
			A	L	Stf	Sf	Sg		p. 100																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			

(*) A : (clay) ; L : (silt) ; Stf : (very fine sand) ; Sf : (fine sand) ; Sg : (coarse sand).

Plus récemment, Ollagnier, Ochs et Martin [5], dans une étude traitant de la fumure du palmier à huile dans le monde, décrivaient deux méthodes possibles pour étudier la nutrition minérale de cet oléagineux :

— la première concerne l'étude du bilan des exportations d'éléments nutritifs avec tout ce que cela comporte de difficultés pratiques et d'imprécisions ;

— la seconde, basée sur l'expérimentation au champ et l'analyse de la plante, permet de définir le niveau de déficience ou d'excès des éléments minéraux. Elle est beaucoup plus précise que la précédente et, compte tenu du niveau actuel des recherches, elle rend bien compte de l'effet des fumures sur le développement et les productions.

Nous traiterons successivement de ces deux dernières méthodes qui ont été les plus employées par les chercheurs, tout en donnant plus d'importance à la seconde.

a) Exportations d'éléments nutritifs.

Les études entreprises pour déterminer les quantités d'éléments exportés par le cocotier sont nombreuses. Frémond *et al.* [7] rappellent les résultats obtenus par Jacob et Coyle en 1927, Eckstein en 1937 et Pillai et Davis en 1963 [6], (Tabl. II).

Exprimées en valeur absolue, les différences entre les auteurs semblent importantes. Cependant, il est intéressant de noter une certaine similitude entre les chiffres d'Eckstein et ceux de Copeland [8].

A la différence des autres chercheurs, Ouvrier et Ochs

ont travaillé sur du matériel hybride. La ligne 6 du tableau II représente les exportations d'éléments minéraux pour l'ensemble des régimes d'une production annuelle de 6,7 t de coprah par ha, tandis que la ligne 7 donne les exportations pour la totalité du cocotier (stipe et feuillage compris avec la production). Par différence, on obtient les immobilisations annuelles dans le stipe et dans le feuillage.

Pour son stipe et ses feuilles, le cocotier consomme plus de calcium (61 kg contre 9 kg à la production), de magnésium (24 kg contre 15 kg à la production), de sodium (34 kg contre 20 kg à la production) et de soufre (21 kg contre 9 kg à la production). Il y a une certaine équivalence dans les exportations de chlore puisque 125 kg sont nécessaires pour la production et 124 kg pour la formation du stipe et des feuilles.

L'élément le plus exporté par les récoltes en noix est le potassium avec 193 kg. L'évaluation des exportations du chlore pour les besoins de la production s'élève à 125 kg, ce qui en fait le deuxième facteur important des exportations avant l'azote, qui s'élève à 108 kg. Tous les autres éléments sont compris entre 10 et 20 kg.

Ouvrier, pour comparer avec les évaluations de Copeland, a procédé au calcul des exportations d'une variété hybride produisant 1,5 t de coprah/ha/an. Les chiffres sont donnés sur la ligne 5 et à comparer à ceux de la ligne 4. Il existe une analogie entre les exportations de la variété « Grand » et celles de l'hybride Nain × Grand.

A production égale, il n'existe pas de différence dans les exportations entre des cocotiers hybrides et les Grands.

TABLEAU II. — Exportations annuelles d'une cocoteraie
(Annual uptake by a coconut plantation)
(kg/ha)

Auteurs (Authors)	N	P	K	Ca	Mg	Na	Cl	S
1) Jacob et Coyle (1927)	64	29	95					
2) Eckstein (1937)	91	40	131					
3) Pillai et Davis (1963)	56	27	85					
4) Copeland-totalité cocotier (whole coconut) 1,5 t	93	18	115	17				
5) Ouvrier	95	9	117	65				
6) & régimes (bunches) 6,7 t	108	15	193	9	15	20	125	9
7) Ochs	174	20	249	70	39	54	249	30
8) (1978) D. F. composition moyenne (L. A. mean composition) F 14	2,14	0,152	1,257	0,318	0,251	0,056	0,342	

b) Diagnostic des déficiences minérales.

Comme pour le palmier à huile [5], la méthode du diagnostic foliaire s'avère la méthode la plus facile et la plus précise pour l'étude de la nutrition minérale.

En effet, lorsque les agronomes se sont penchés sur la fertilisation en zone tropicale, ils se sont heurtés à de nombreux problèmes. En particulier la comparaison entre analyse de sols en milieu tropical ou tempéré a donné lieu à des interprétations erronées. L'expérience accumulée en climat tempéré n'était pas transposable en milieu tropical. Le diagnostic de nutrition par analyse de sol se heurte à la microhétérogénéité de ce milieu et à la difficulté d'apprécier l'assimilabilité. Il faut ajouter à ces considérations, d'ordre agronomique, des préoccupations d'ordre économique. Les sols tropicaux ne paraissent pas, en général, aussi riches que ceux des régions tempérées, et les plantes cultivées des zones tropicales étant considérées à l'origine comme peu productives, il n'était pas possible de promouvoir la fertilisation des cultures tropicales sans disposer d'une méthode d'analyse simple, susceptible de donner des résultats rapides et dont l'interprétation pouvait conduire à la généralisation, dans une certaine mesure, des enseignements acquis par l'expérimentation.

C'est pour cette raison que l'I. R. H. O. a repris les travaux de Chapman et Gray [10] sur le diagnostic foliaire en les appliquant aux oléagineux tropicaux (arachide, palmier à huile et cocotier) [11].

Pour le cocotier, en 1952, à la suite de résultats d'analyses foliaires, il est apparu que les teneurs en potassium en Côte d'Ivoire étaient probablement faibles ; une première expérience de fumure fut mise en place. Trois années après l'application annuelle d'une fumure potassique, l'analyse foliaire révélait que les niveaux du potassium étaient passés de 0,165 à 0,492 p. 100 de matière sèche et que, corrélativement, le nombre de noix par arbre passait de 58 à 89. C'était la première démonstration, pour le cocotier, de l'intérêt du diagnostic foliaire pour la détermination des déficiences.

La méthode consiste à mesurer les concentrations en éléments minéraux des feuilles et à les comparer à des niveaux critiques. Ces niveaux critiques sont définis comme la teneur

d'un élément au-dessous de laquelle une application de l'engrais approprié a toute chance de provoquer une amélioration économique du rendement.

Ces niveaux critiques sont déterminés en comparant de nombreux résultats d'expérimentation au champ. Dans son dernier Rapport d'activités (1976-1977), l'I. R. H. O. détermine les niveaux critiques à partir des relations graphiques entre les doses d'engrais, les réponses de la production et les teneurs foliaires. Cependant, l'action d'un élément n'est pas toujours indépendante des autres et il a fallu tenir compte des interactions.

L'avènement du cocotier hybride a nécessité l'implantation de nouvelles expériences de fumure minérale. Si, entre la variété Grand et les hybrides, le sens général des liaisons entre les éléments pouvait paraître identique ou très proche, il n'était pas évident que le niveau de production attendu des hybrides ne modifie pas les équilibres minéraux de la plante. Par exemple, l'effet remarquable de l'action combinée de la fumure potassique et magnésienne sur hybride est nettement démontré aujourd'hui alors qu'il est de faible importance sur le matériel végétal traditionnel. Sans que l'étude en soit définitive, il est reconnu également que les niveaux de nutrition ne sont pas les mêmes pour les variétés de Grands et les variétés de « Nains » ; au sein de ces variétés de Nains existent également des différences non négligeables qu'il convient de préciser. Enfin, les travaux de recherche ont conclu à l'intérêt majeur d'une fumure minérale dès le jeune âge ; les niveaux critiques correspondants sont déterminés en fonction des réponses expérimentales obtenues sur le développement végétatif (hauteur, nombre de feuilles, diamètre au collet, indice de vigueur).

Les niveaux critiques déterminés pour la variété GOA (Grand Ouest Africain) sont les suivants :

$$\begin{array}{ll} \text{N} = 1,8 - 2,0 & \text{K} = 0,8 - 1,0 \\ \text{P} = 0,120 & \text{Mg} = 0,24. \end{array}$$

Ils sont probablement valables, au premier ordre de grandeur, sur la plupart des variétés de Grands.

Le tableau III donne les niveaux critiques proposés pour

l'hybride P-B 121 (Nain jaune de Malaisie × Grand Ouest Africain) d'après les tout premiers résultats des expériences mises en place en Côte-d'Ivoire en 1970.

TABLEAU III. — Niveaux critiques en p. 100 de matière sèche (*Critical levels in p. 100 dry matter*)
— Hybride P-B 121 —

Age	Rang de feuille (<i>Leaf rank</i>)	N	P	K	Mg
1 an (<i>year</i>) ...	1	1,7	0,16	3,0	0,27
2 ans (<i>years</i>) ..	4	2,2	0,14	2,0	0,24
3 ans (<i>years</i>) ..	9	2,2	0,13	1,7	0,23
4 ans (<i>years</i>) ..	14	2,2	0,12	1,5	0,21
5 ans (<i>years</i>) ..	14	2,2	0,12	1,4	0,20

Le niveau critique de K en période de production maximale n'a pas encore été déterminé expérimentalement ; il existe un certain nombre d'indices pour penser que ce niveau sera inférieur à sa valeur du jeune âge, en se rapprochant du niveau critique du matériel « Grand ». Corrélativement, le niveau critique du magnésium risque d'évoluer.

En ce qui concerne les niveaux critiques de N et de P, la détermination se fera également expérimentalement, lorsque les expériences établies plus récemment sur des sols carencés en azote et en phosphore seront entrées en production, les niveaux définis dans le tableau III n'étant pas définitifs et correspondant plus à des niveaux optima sur le plan physiologique.

En fonction de l'âge, on constate que les teneurs en azote croissent légèrement alors que celles en phosphore et potassium diminuent ; les teneurs en magnésium varient peu.

Pour les variétés Grands et l'hybride P-B 121, les teneurs sont identiques pour le phosphore, plus élevées chez l'hybride P-B 121 pour l'azote et la potasse ; en revanche, un niveau plus faible de magnésium semble être suffisant pour cet hybride, du moins avant qu'il atteigne sa production maximale.

Les niveaux critiques du calcium et du sodium n'ont pas été déterminés car aucune réponse à ces éléments n'a encore été observée dans le réseau expérimental.

Pour le chlore, Ollagnier, Ochs et Daniel [12] ont montré que le cocotier répondait bien à la fumure chlorée lorsque les niveaux étaient très bas. Le niveau de 0,3 p. 100 constitue un seuil au-dessous duquel les réponses des rendements aux applications de Cl sont certaines, la valeur de 0,5 représentant probablement une valeur optimale.

On voit que le diagnostic foliaire est une bonne méthode d'étude de la nutrition minérale. Il est à la base des travaux entrepris par l'I. R. H. O., et de nombreux organismes scientifiques travaillant dans le monde l'ont maintenant adopté pour le cocotier. Cependant, le réseau expérimental est encore beaucoup plus développé sur le matériel « Grand » de production médiocre que sur le matériel hybride.

En effet, pendant que les agronomes s'attachaient à déterminer les fumures les mieux équilibrées pour obtenir les meilleurs rendements de la variété Grand, répondant ainsi à court terme à la préoccupation majeure des planteurs, les généticiens s'efforçaient, à long terme, d'améliorer cette variété par sélection massive, puis par hybridation entre variétés géographiquement éloignées.

Du fait de la forte augmentation des productions enregistrées sur le matériel hybride, les doses de fumure préconisées pour le matériel traditionnel devenaient insuffisantes. Des expériences nouvelles ont donc été mises en place dans le monde avec du matériel hybride car les grands projets de développement consacreront la majeure part de leur surface à ce nouveau matériel végétal.

Pour les variétés traditionnelles, on a choisi un certain nombre d'expériences assez anciennes ; en revanche les expériences sur hybrides sont récentes mais permettent, pour les plus âgées, de dégager des conclusions intéressantes pour l'avenir. Le tableau IV donne les protocoles des principales expériences citées (v. page suivante).

II. — ÉTUDE DE LA NUTRITION ÉLÉMENT PAR ÉLÉMENT

1. — Azote.

Dans le domaine de la physiologie végétale, l'azote est indispensable en tant que constituant des aminoacides [13], des protéines et des acides nucléiques. L'effet de la déficience en

azote sur cocotier est ressenti à tous les niveaux de la physiologie de la plante, provoquant une baisse de production importante.

a) Symptômes de déficience.

La teneur critique en azote d'une feuille de rang 14 peut être fixée à 1,80-2,00 p. 100 de matière sèche pour les variétés Grand et à 2,2 pour l'hybride P-B 121. Au-dessous de cette valeur, l'alimentation du cocotier est insuffisamment assurée, ce qui entraîne des anomalies qui s'extériorisent par des symptômes de déficience.

Dans un premier stade, on observe un jaunissement très léger et continu de tout l'appareil foliaire ; l'arbre ne possède plus le vert franc caractéristique d'un bon équilibre nutritionnel.

À un degré plus avancé, les jeunes palmes ont une teinte vert pâle qui donne aux folioles un aspect terne ; les feuilles âgées, fortement décolorées, peuvent prendre une teinte jaune d'or uni. De nombreux régimes avortent et le nombre de fleurs femelles par inflorescence est faible (très rarement plus d'une par branche de spadice).

Au stade ultime de la carence, le cocotier semble affecté d'une sorte de nanisme ; le stipe en grandissant s'amincit progressivement en « pointe de crayon » ; la couronne porte des feuilles peu nombreuses et courtes.

b) Causes.

Les causes de la carence azotée du cocotier sont maintenant très bien connues et sont de trois ordres :

— une faible pluviosité (Etat du Guerrero au Mexique, République du Bénin, Mozambique) ou une pluviosité mal répartie, en réduisant le temps de nitrification et la durée d'activité de la partie absorbante du système racinaire, influe sur les niveaux de l'azote ;

— des conditions pédologiques défavorables à la minéralisation de la matière organique ; c'est le cas des sols coralliens des atolls polynésiens, des terres coralliennes des Nouvelles-Hébrides ou des sables blancs lessivés par les variations du niveau d'une nappe phréatique peu profonde. La même chose peut arriver dans les sols riches (Philippines, Indonésie) ;

— un entretien défectueux conduisant à la prolifération des graminées, et en particulier de l'*Imperata*, grosses consommatrices d'azote.

La déficience azotée est assez fréquente ; elle peut également résulter d'un épuisement du sol par de nombreuses années de culture (Inde, Philippines), mais dans le cas de la mise en évidence d'une nutrition azotée insuffisante on a avantage à déterminer avec précision la cause principale qui l'engendre.

Coomans [14], en particulier, a montré que le niveau de la nutrition en azote dépendait directement de la pluviométrie.

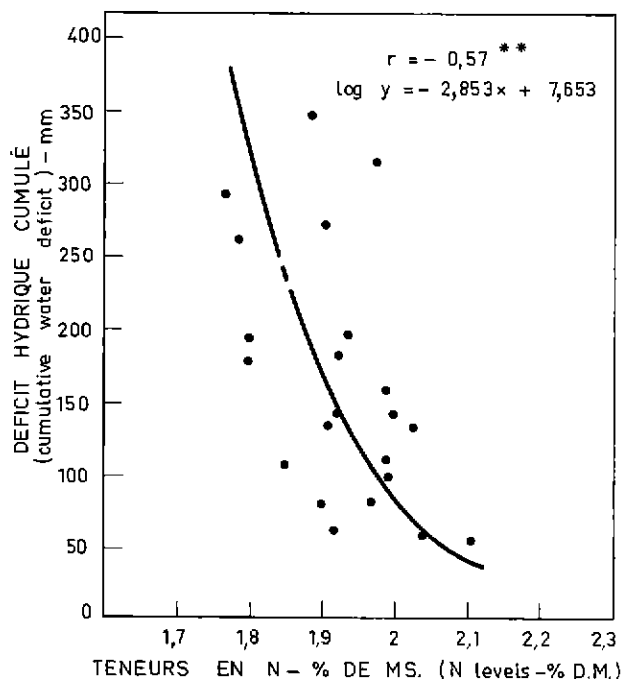


FIG. 1. — Mare Delorme : Relation teneur en N et déficit hydrique cumulé des 3 mois précédant les prélèvements (*Relation between N level and cumulative water deficit for the 3 months before sampling*).

TABLEAU IV. — **Protocoles de quelques expériences citées**
(Plans of a few of the experiments mentioned)

Pays (Country)	Code	Lieu de l'expérience (Site of experiment)	Dispositif (Design)	Année Plant. (Year)	Début (Start)	Arrêt (End)
					expérience (experiment)	
GRANDS (TALLS)						
Côte-d'Ivoire (Ivory Coast)	PB-CC 1	IRHO — Marc Delorme (1) Sables du littoral (Sands of the off-shore bar)	Fact. $4 \times 2 \times 2 \text{ K}^4 \text{ N}^2 \text{ P}^2$ $4 \times 2 \times 2 \text{ s K}^4 \text{ N}^2 \text{ P}^2$ subdivisé (subdivided) Mg	1930	1952 1957	1957 1969
	PB-CC 3	IRHO — Marc Delorme Sables du littoral (Sands of the off-shore bar)	Fact. $2 \times 2 \times 2 \times 2 \text{ N P K Na}$ $2 \times 2 \times 2 \times 2 \text{ N P K Na Mg}$	1954	1954 1957	1957 1973
	PB-CC 5	IRHO — Marc Delorme Sables du littoral (Sands of the off-shore bar)	Blocs de Fisher (doses et fréquences de (rates and frequencies of K) + Mg	1930	1955 1958	1958 1963
	PB-CC 23	Sodepalm — Hébé Sables côtiers (Coastal sands)	Fact. $4 \times 4 \times 2 \text{ K}^4 \text{ Mg}^4 \text{ Ca}^2$ $4 \times 4 \text{ K}^4 \text{ Mg}^4$	1968	1972 1976	1976
	DA-CC 1	IRHO — Dabou Sables tertiaires (Tertiary sands)	Fact. $3 \times 3 \times 3 \text{ s N}^3 \text{ K}^3 \text{ Mg}^3$ subdivisé (subdivided) Na	1965	1967	1976
Nouvelles-Hébrides (New Hebrides)	NH-CC 6	IRHO — Saraoutou Sables coralliens (Coral sands)	Fact. $3 \times 3 \times 3 \text{ N}^3 \text{ P}^3 \text{ K}^3$	1967	1967	1978
	NH-CC 8	IRHO — Saraoutou Sols volcaniques de plateau (Volcanic plateau soils)	Fact. $4 \times 4 \times 2 \text{ N}^4 \text{ K}^4 \text{ P}^2$ subdivisé chlorures-sulfates (subdivided chlorides-sulphates)	1968	1968 1972	1972
Mozambique	MP-CC 1	IRHO — Porto Bello Sols alluvionnaires (Alluvial soils)	Fact. $2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \text{ N}^2 \text{ K}^2 \text{ Mg}^2$ Oligoéléments (trace elements)	1905	1961	1973
	MB-CC 4	IRHO — Bana — Sol très sableux (Very sandy soil)	Blocs de Fisher, 5 répétitions (replications) Dates application azote (nitrogen)		1965	
Inde (India)		CPCRI, Kasaragod Sablo-limoneux (Sandy loam)	Fact. $3^3 \times 2 \text{ N}^3 \text{ P}^3 \text{ K}^3$		1953	1965
Madagascar	SB-CC 3	IRHO Sambava Sablo-limoneux (Sandy loam)	Equilibre N-S — 9 traitements — 6 répétitions (N-S balance — 9 treatments — 6 replications)	1972	1972	
HYBRIDES						
Côte-d'Ivoire (Ivory Coast)	PB-CC 16	IRHO — Marc Delorme Sables tertiaires (Tertiary sands)	Fact. $3 \times 3 \times 3 \text{ s N}^3 \text{ K}^3 \text{ Mg}^3$ subdivisé (subdivided) N — HNV et HNJ (Hybrids GD, YD)	1970	1970	
	PB-CC 18	IRHO — Marc Delorme Sables tertiaires (Tertiary sands)	Fact. $3 \times 2 \times 2 \times 2$ — Epannage ³ (Spreading ³) $\text{N}^3 \text{ K}^2 \text{ Mg}^2$	1970	1970	
	PB-CC 31	IRHO — Marc Delorme Sables du littoral (Sands of the off shore bar)	Fact. $4 \times 4 \times 2 \text{ N}^4 \text{ Mg}^4 \text{ K}^2$ + P constant	1974	1974	
	PB-CC 39	IRHO — Abengourou Sablo — argileux (Sandy clay)	Fact. $2 \times 2 \times 2 \times 2 \text{ N}^2 \text{ P}^2 \text{ K}^2 \text{ Mg}^2$	1977	1977	
	DA-CC 2	IRHO — Dabou Sables tertiaires (Tertiary sands)	Fact. $3 \times 3 \times 2 \text{ s K}^3 \text{ Na}^3$ subdivisé (subdivided) Cl/S	1975	1975	
Indonésie (Indonesia)	PNP X	Sud Sumatra Sols volcaniques (Volcanic soils)	Fact. $3 \times 3 \times 3 \text{ s N}^3 \text{ P}^3 \text{ K}^3$ subdivisé (subdivided) Mg	1977	1977	
Philippines	PH-CC 8	Bago-Oshiro Sols volcaniques (Volcanic soils)	Fact. $3^3 \text{ N}^3 \text{ K}^3 \text{ Mg}^3$ subdivisé (subdivided) Cl-S	1974	1974	
Jamaïque (Jamaica)	F/13	Coconut Industry Board. Coco Hoic Sols argileux (Clay soils)	Fact. $4 \times 3 \times 3 \text{ N}^4 \text{ P}^3 \text{ K}^3$	1966	1967	
	F/14	Coconut Industry Board Little Gray's Inn. Sols argileux (Clay soils)	Fact. $2^4 \text{ N}^2 \text{ P}^2 \text{ K}^2 \text{ Na}^2$ Little Gray's Inn.	1966	1966	

(1) Ancienne station de Port-Bouél (formerly Port-Bouél Station)

TABLEAU IV (suite)

Pays (Country)	Code	Lieu de l'expérience (Site of experiment)	Dispositif (Design)	Année Plant. (Year)	Début (Start)	Arrêt (End)
					expérience (experiment)	
NAINS (DWARFS)						
Philippines	BIK-CC 6 Nains Rouges (Red Dwarfs)	Bugsuk Sols coralliens (Coral soils)	Fact. 3 ³ s N ³ K ³ Mg ³ subdivisé (subdivided) Fe & Mn	1975	1975	
Côte-d'Ivoire (Ivory Coast)	DA-CC 3 Nains Jaunes (Yellow Dwarfs)	IRHO — Dabou Sables tertiaires (Tertiary sands)	Fact. 3 ³ s N ³ K ³ Mg ³ subdivisé (subdivided) P	1977	1977	
Jamaïque (Jamaica)	F/9 Nains Verts (Green Dwarfs)	Coconut Industry Board Ballards valley Sols argileux (Clay soils)	Fact. 2 × 2 × 2 × 3 P ² K ² Mg ² N ³	1963	1963	
Malaisie (Malaysia)	Nains Rouges (Red Dwarfs)	Highlands Research Unit Selangor Series — argiles côtières (Coastal clays)	Fact. 2 ³ N ² P ² K ²		1969	

Sur la station Marc-Delorme, en Côte-d'Ivoire, existe une corrélation négative significative ($r = -0,57^{**}$) entre les niveaux d'azote et le déficit hydrique cumulé des trois mois précédents (Fig. 1). Une relation identique a été trouvée en République malgache ($r = -0,48^{**}$) sur la station de recherches d'Ankivanja.

c) Correction par les fumures minérales.

L'I. R. H. O. a obtenu les meilleures corrections de déficience azotée au Mozambique [15] avec des augmentations de production de 30 à 40 p. 100 selon les années. Dans une première expérience factorielle de type 2³ étudiant N, K et Mg (MP-CC 1), les applications d'engrais minéraux n'avaient pas eu d'effet sur les teneurs, et l'action de l'azote sur le nombre de noix était peu marquée (Tabl. V). La déficience azotée étant nette, une nouvelle expérience est mise en place, comparant divers traitements de légumineuses enfouies ou non, avec ou sans engrais. La couverture de légumineuses a eu un bon résultat en agissant sur le nombre de feuilles et leur coloration.

Cependant, la légumineuse est souvent dégradée par des facteurs difficilement contrôlables (nématodes, chenilles, ombrage), ce qui a conduit à reprendre les applications de fumure minérale en tenant compte de la date d'épandage. L'expérience MB-CC 4 a montré la supériorité d'un épandage au début de la saison des pluies (augmentation de plus de 40 p. 100 du nombre de noix/arbre/an). Ce résultat est étroitement lié à l'activité du système racinaire superficiel dont la destruction au cours de la saison sèche ralentit considérablement l'absorption (il est fréquent de constater des symptômes de déficience azotée à la fin de la saison sèche alors que les analyses foliaires n'en révélaient pas la présence quelques semaines auparavant). La saison des pluies produit un nouvel accroissement de la masse foliaire et c'est à ce moment que doivent être fournis les éléments pour suivre cet accroissement et faciliter l'absorption de l'azote.

Une constatation similaire est faite en Inde par Ramanandan et Pillai [16] lorsqu'ils comparent des traitements cultivés ou non, avec ou sans fumure, au cours des saisons. Les variations ne sont pas significativement différentes, mais les auteurs n'indiquent pas la période qu'ils ont retenue (début ou fin de la saison des pluies) pour effectuer leurs prélèvements foliaires.

C'est également dans le but de préciser la meilleure époque de l'application des fumures que l'I. R. H. O. a mis en place l'expérience PB-CC 18 sur matériel hybride de Nain jaune; elle compare les effets de deux doses d'urée, de chlorure de potassium et de kiesérite appliquées avant ou après la saison des pluies, fractionnées ou non. L'engrais azoté a un effet significatif sur le nombre de noix par arbre et le coprah par arbre, bien que le coprah par noix soit déprimé significativement.

En Malaisie, une bonne réponse à la fumure azotée a été obtenue par Khoo Kay Thye *et al.* [17] sur les argiles côtières (séries Kang Kong) plantées en cocotiers Nains rouges. Les auteurs ont noté un meilleur développement végétatif (longueur et surface des feuilles), une augmentation du nombre de noix, mais une baisse de la quantité de coprah/noix. Le bilan est tout de même positif avec un accroissement de 26 p. 100 du coprah/arbre/an.

Kunhi Mulyar et Nelliath [18], en Inde, arrivent à la même

conclusion en ce qui concerne l'effet de l'azote sur le coprah/noix. Si la fumure azotée accroît significativement le nombre de noix (17 p. 100 dans le cas de l'expérience), elle déprime très significativement le coprah/noix.

Traitement	Coprah par noix (g)
N0	179
N1	165 **
N2	162 **

** Significatif à 1 p. 100.

Sur sol corallien, Pomier [19, 20] montre qu'après la correction de la carence en fer et en manganèse, l'azote devient le facteur limitant mais que le seul moyen de relever les teneurs consiste à implanter une légumineuse, car le sol formé d'éléments très grossiers retient très difficilement les engrais.

Comme les auteurs cités précédemment, l'I. R. H. O. a souvent trouvé une action dépressive de la fumure azotée sur le coprah/noix. Il semble cependant que cet effet soit étroitement lié aux teneurs en potassium. En effet, pour de faibles teneurs en K, le sulfate d'ammoniac diminue le nombre de noix et le coprah/noix, mais dès que l'on corrige la déficience potassique, l'azote favorise le nombre de noix tandis que l'action dépressive sur le coprah/noix persiste [21].

Depuis quelques années, l'I. R. H. O. étudie l'action de différentes formes anioniques d'engrais sur la production des cocotiers. Le traitement où les cations sont apportés sous forme de nitrate a toujours donné les meilleures productions en nombre de noix.

Forme d'engrais	Teneurs en N feuille 14	Productions	
		Nombre de noix/arbre (p. 100)	Coprah/arbre kg (p. 100)
KCl	1,873	61,6 (100)	12,6 (100)
K ₂ SO ₄	1,940 *	67,6 (110)	13,8 (109)
KCl + MgCl ₂	1,912	63,6 (103)	13,1 (104)
K ₂ SO ₄ + MgSO ₄	1,940 *	62,1 (101)	12,8 (101)
KCl + NaCl	1,928	57,0 (92)	12,7 (101)
KNO ₃ + NaNO ₃	2,047 **	88,5 ** (144)	16,9 ** (134)

Cependant, c'est sur les jeunes cocotiers que la fumure minérale azotée a donné les résultats les plus caractéristiques, tant sur les Grands que sur les Nains ou les hybrides.

A la Jamaïque, Smith [22], qui travaillait surtout sur des Nains, obtient une augmentation de la croissance (hauteur des plants) et du développement (nombre de feuilles) par l'application d'une fumure minérale azotée.

Plus récemment, les nombreuses expériences de l'I. R. H. O. en pépinière et en jeune plantation ont permis de définir des barèmes de fumure où il est montré que les engrais azotés ont un rôle non négligeable à jouer.

Sur l'hybride obtenu entre le Nain Jaune de Malaisie et le Grand Ouest Africain (hybride P-B 121), ce sont encore les

TABLEAU V. — Action des engrais sur la teneur en N et effets des engrais azotés
(Action of fertilizers on N level and effects of nitrogenous fertilizers)

Pays (Country)	Expérience (Experiment)	Rang de la feuille (Leaf rank)	Effet des engrais sur la teneur en N de la feuille (Effect of fertilizers on N level of leaf)				Effets des engrais azotés sur la : (Effects of nitrogenous fertilizers on :)									
			Effet Nc (*) teneurs en Nf (*) (Effect of Nc (*) on Nf (*) levels)		Effet Pe/ teneurs en Nf (Effect of Pe on Nf levels)		Effet Kc/ teneurs en Nf (Effect of Kc on Nf levels)		Effet Mge/ teneurs en Nf (Effect of Mge on Nf levels)		production		croissance (growth)			
			(-) N	(-) N	(-) P	(-) K	(-) K	(-) Mg	Nbre de noix/ arbre/an (No. nuts/tree/ year)	Coprah/noix (coprah/nut)	Coprah total/ arbre/an (total coprah/ tree/year)	(-) N		(-) N		
GRANDS (TALLS)																
Côte-d'Ivoire (Ivory Coast)	PB-CC 1	14	1,62	1,78 **	1,73	1,68	1,60	1,72	1,73	1,67 **	44,9	49,1	203	186 **	9,3	9,4
	PB-CC 3	14	2,10	2,18 **	2,17	2,13	2,12	2,18 **	2,13	2,17	58,0	50,1 **	192	192	11,2	9,7 **
	1970	14	2,11	2,17	2,14	2,15	2,15	2,14	2,14	2,15	74,0	67,2 *	205	205	15,0	13,6 **
	PB-CC 23	14					2,30	2,25	2,25	2,26						
Nouvelles-Hébrides (New Hebrides)	DA-CC 1	14	2,14	2,22 **			2,23	2,07 **	2,17	2,16	51,7	55,8				
	NH-CC 6	14	2,10	2,05	2,07	2,08	2,08	2,11			119,0	115,5	149	151	17,8	17,4
	NH-CC 8	14	2,04	2,09	2,03	2,09	2,10	2,05			93,1	96,9	147	146	13,1	14,1
	MP-CC 1	14	1,73	1,89 **			1,80	1,84			76,9	90,3 *	188	190	14,5	17,2 *
Madagascar	SB-CC 3	9	1,77	1,72	1,53	1,86 **										
HYBRIDES																
Côte-d'Ivoire (Ivory Coast)	PB-CC 16	4	2,17	2,24 *	2,22	2,22	2,24	2,19	2,22	2,18	10,5	16,3 *	241	232 *	20,0	20,7
	25 mois (months)	4	2,26	2,27	2,25	2,27	2,28	2,25	2,23	2,23	83,0	88,3	225	221	14,1	13,8
	5 ans (years)	9	2,37	2,36	2,39	2,36	2,44	2,29 **	2,35	2,35	61,1	61,4				
	6 ans (years)	14	2,30	2,30	2,30	2,29	2,40	2,22 **	2,25	2,31 *						
	8 ans (years)															
	PB-CC 18	4	2,28	2,39 *	2,33	2,35	2,33	2,35	2,31	2,37	77,4	87,5 **	231	236	17,7	20,6 **
	31 mois (months)	14	2,19	2,20	2,23	2,16 *	2,23	2,16 *	2,20	2,18						
	8 ans (years)	14	1,56	1,99 **	1,85	1,81	1,85	1,81	1,84	1,81						
	PB-CC 31	4	1,85	2,13 **	2,00	1,98	1,94	2,04	2,05	1,93						
	PB-CC 39	4	1,85	2,13 **	2,00	1,98	1,74	1,63 **	2,05	1,93						
Indonésie (Indonesia)	PNP X	4	1,82	1,89	1,84	1,86	1,83	1,86	1,86	1,82						
Philippines	Sud Sumatra (South Sumatra)															
	PH-CC 8	4	2,12	2,14			2,13	2,14	2,13	2,16						
Jamaïque (Jamaica)	F/13	14	1,91	1,89	2,00	1,91	1,93	1,96			36,4	42,4	147	181	20,0	20,7
F/14	14	1,54	1,65 *	1,60	1,58	1,61	1,57	1,61	1,57		26,6	29,7			13,8	13,8
NAINS (DWARFS)																
Philippines	BK-CC 6	4	2,30	2,45	2,36	2,37	2,44	2,31	2,38	2,35						
Côte-d'Ivoire (Ivory Coast)	DA-CC 3	4	2,09	2,17 *	2,14	2,14	2,15	2,14	2,13	2,13						
Jamaïque (Jamaica)	F/9	14	1,67	1,64	1,61	1,65	1,64	1,66	1,59	1,67 *	78	68,2				

NAINS (DWARFS)

(*) Ne = Engrais azoté (Nitrogenous fertilizer).

Nf = Teneur du diagnostic foliaire p. 100 de M. S. (Leaf analysis level — p. 100 D. M.).

nitrate qui ont donné les plus beaux plants en pépinière. Dans une expérience conduite sur sol sableux quaternaire d'Afrique de l'Ouest (Côte-d'Ivoire), les résultats des diverses mesures, à l'âge de six mois, montrent que :

— les teneurs en azote du témoin sont faibles et que l'application d'un engrais minéral azoté augmente le niveau de l'azote dans les feuilles, cet accroissement étant plus élevé sous l'effet de l'urée et de l'ammonitrate qu'en présence de sulfate d'ammoniaque ;

— l'ammonitrate accroît très significativement le nombre de feuilles, le nombre de folioles et le diamètre au collet ;

— l'urée n'améliore que de 4 à 6 p. 100 le développement du feuillage ;

— le sulfate d'ammoniaque augmente seulement de 4 p. 100 le nombre de feuilles.

Le tableau VI donne ces résultats ; on constate que la meilleure nutrition azotée qui améliore la croissance provoque un effet de dilution des teneurs en potassium dans les feuilles.

A l'âge de douze mois, ces effets sont confirmés,

— l'ammonitrate accroît le poids du plant de 19 p. 100 mais l'appareil foliaire bénéficie plus de cette augmentation (+ 51 p. 100 pour les feuilles, et + 37 p. 100 pour le collet) que le système racinaire (+ 14 p. 100 seulement) ;

— l'urée, à l'inverse de l'ammonitrate, agit très fortement sur le développement des racines (+ 56 p. 100) dont le cheveu est beaucoup plus dense, l'accroissement du poids étant essentiellement dû au nombre plus élevé des racines et non à leur grosseur ;

— le sulfate d'ammoniaque ne modifie pas le poids frais du plant.

Toujours sur hybride P-B 121 et en particulier dans l'expérience PB-CC 16 de Côte-d'Ivoire, l'I. R. H. O. a confirmé l'action positive et significative d'une fumure minérale azotée sur la croissance et le développement des jeunes cocotiers. Les cocotiers recevant un engrais azoté ont une circonférence au collet significativement plus grande que celle des plants non fumés. A la 3^e année, cet effet est très atténué et n'est plus visible à l'âge adulte.

En replantation, l'azote minéral peut avoir un effet spectaculaire sur la précocité de floraison ; c'est le cas dans l'expérience PB-CC 31 de Côte-d'Ivoire où le niveau d'épuisement du sol est élevé et où persiste une couverture graminéenne dense.

En conclusion, la déficience azotée, sans être très fréquente, existe. Elle a été souvent étudiée sur matériel Grand et les chercheurs ont obtenu des réponses à la fumure minérale. Cependant, il est indispensable, en présence d'une déficience azotée, de bien en connaître la cause, la pratique la plus économique n'étant pas obligatoirement l'utilisation d'un engrais azoté.

Les plans de développement raisonnent bien souvent en fonction d'un matériel hybride plus précoce et plus producteur. Les résultats de l'expérimentation sur ce type de matériel végétal font penser que la fumure azotée est, dans certains cas, un excellent moteur pour la croissance et le développement des jeunes plants. L'analyse foliaire est un excellent outil de travail pour déceler les déficiences éventuelles.

TABLEAU VI. — Effet des engrais azotés sur plants de cocotiers en pépinière
(Effect of nitrogenous fertilizers on nursery plants)

Age	Caractère (<i>Character</i>)	Objet (<i>Treatment</i>)				
		Témoin (<i>Control</i>)	Urée (<i>Urea</i>)	Sulfate d'ammoniaque (<i>Ammonium sulphate</i>)	Ammonitrate	
6 mois (<i>months</i>)	Nbre de feuilles (<i>No. of leaves</i>) . . . p. 100	5,8 100	6,1 * 104	6,1 * 104	6,4 ** 110	
	Nbre de folioles sur F3 (<i>No. of leaflets on L. 3</i>) p. 100	10,1 100	10,6 * 106	10,2 102	11,1 ** 110	
	Diamètre au collet (<i>Girth</i>) — cm p. 100	14,0 100	14,2 102	14,0 100	15,3 ** 109	
12 mois (<i>months</i>)	Poids des feuilles (<i>Weight of leaves</i>) — g p. 100	375 100	470 * 125	382 102	566 ** 151	
	Poids du collet (<i>Weight of collar</i>) — g p. 100	456 100	533 117	422 92	628 ** 137	
	Poids des racines (<i>Weight of roots</i>) — g p. 100	362 100	566 ** 156	358 99	414 114	
	Poids ensemble du plant (<i>Weight of whole plant</i>) — g p. 100	2 998 100	2 684 107	2 506 109	2 973 ** 119	
Diagnostic foliaire (<i>Leaf analysis</i>)		N K	1,382 2,917	2,033 ** 2,663 *	1,810 ** 2,931	2,018 ** 2,601

d) Relations avec les autres éléments.

Il existe d'étroites relations entre les niveaux d'azote et d'autres éléments.

En particulier, en Côte-d'Ivoire, nous avons vu dans le chapitre précédent que l'action de la fumure minérale azotée pouvait être sous la dépendance de la nutrition potassique. Cependant, Ollagnier et Ochs [23], dans l'étude de l'interaction NK qu'ils ont entreprise sur les oléagineux tropicaux, concluent que l'absence d'interaction nette (définie avec N et K qui accroissent séparément les rendements et l'association NK qui donne des rendements supérieurs à N + K) serait la conséquence du faible nombre de déficiences en azote et du peu d'action de la potasse sur le métabolisme de l'azote ; ils estiment également que l'utilisation de matériel végétal plus producteur influera considérablement sur les besoins en azote et provoquera la mise en évidence d'interactions nettes.

Il semble que l'hybride P-B 121 soit effectivement plus gros consommateur d'éléments nutritifs que son parent Grand,

ce qui est normal compte tenu de sa précocité et de sa production, mais il n'existe pas pour l'instant en Côte-d'Ivoire d'interaction nette entre l'azote et le potassium.

Dans le reste du monde, l'expérimentation sur hybride Nain × Grand est trop récente pour donner une réponse sur l'interaction NK mais c'est certainement dans des zones à déficience azotée sévère que cette interaction pourrait être mise en évidence.

Enfin, il faut signaler la liaison étroite qui existe entre N et P.

2. — Phosphore.

Les exportations en phosphore sont faibles (15 à 18 kg) ; elles représentent le dixième des exportations en potassium ou en chlore. Cependant, le phosphore a son importance puisqu'il intervient dans la régénération de l'acide adénosine triphosphorique et dans la constitution des phosphoprotéines.

Le phosphore est, en général, abondant dans les organes jeunes. L'étude des niveaux de P en fonction du rang de la feuille [24] montre d'ailleurs des valeurs plus élevées en P dans les feuilles les plus jeunes (teneur de 0,160 p. 100 pour une feuille de rang 4).

Le niveau critique pour une feuille de rang 14 est de 0,120 p. 100 de la matière sèche.

a) Symptômes de déficience.

La déficience en phosphore sur cocotier est rare.

Il n'existe pas de symptômes visuels très caractéristiques, sinon un ralentissement de la croissance et un raccourcissement des palmes.

b) Causes.

Les sables quaternaires du littoral de la Côte-d'Ivoire et de l'Afrique de l'Ouest, en général, sur lesquels on a enregistré une réponse à la fumure phosphatée, ont une teneur native de 25 ppm en phosphore total. Les sables tertiaires sont mieux pourvus avec 120 ppm et des teneurs allant à 500-600 ppm. Au-delà de 120 ppm, l'analyse de P donne des niveaux supérieurs à 0,120 p. 100 et l'application d'une fumure minérale phosphatée n'augmente pas la production.

Les latosols liparitiques du Nord Sumatra, sur lesquels on observe de fortes réponses à P sur palmier à huile, devraient également se montrer déficients pour le cocotier (leur teneur en P total est comprise entre 100 et 300 ppm).

Par suite de l'étroite liaison existant entre N et P, une nutrition azotée déficitaire peut engendrer la chute des teneurs en phosphore.

Bien souvent, l'application d'une fumure potassique provoque une baisse des niveaux en phosphore dans les feuilles.

c) Correction par les fumures minérales.

Quelques exemples seulement d'action favorable de la fertilisation phosphatée sont connus, à Madagascar, au Sri Lanka, en Inde et en Côte-d'Ivoire. Pour l'Inde, la Côte-d'Ivoire et le Sri Lanka, ce n'est qu'après plusieurs années de fumure que le phosphore accroît significativement la production en nombre de noix. L'action du phosphore n'est pas immédiate car les besoins du cocotier ne sont pas importants [25] et, dans bien des cas, il faut attendre l'épuisement du sol avant de distinguer un effet de la fumure minérale.

C'est après vingt-six ans d'application de fumure que le phosphore a eu un effet significatif sur la production dans une expérience du Sri Lanka.

L'I. R. H. O. en Côte-d'Ivoire [27], dans l'expérience PB-CC 3 n'a attendu que douze ans ! (Tabl. VII).

Menon et Pandalai [28], dans leur monographie, bien que mentionnant l'action favorable probable du phosphore en association avec le potassium sur la qualité de la production, ne citent pas de travaux ayant mis en évidence l'intérêt de la fumure phosphatée. Cependant, il convient de noter qu'à cette époque les expérimentateurs utilisaient des engrais complexes

NPK et qu'il était impossible de dissocier l'action d'un élément de l'ensemble.

Ce n'est que très récemment que des expériences ont permis de mieux situer la déficience en phosphore et de fixer éventuellement le niveau de rentabilité de la fumure. En général, l'application d'une fumure minérale phosphatée s'accompagne bien souvent d'une augmentation significative des teneurs en P dans les feuilles.

Dans l'expérience de l'I. R. H. O. citée précédemment, les apports de potassium augmentent très significativement les teneurs en phosphore. L'incidence sur la production se fait par l'intermédiaire d'une augmentation du nombre de fleurs femelles.

Initialement, le niveau critique a été fixé à 0,100 p. 100 de matière sèche. Les résultats obtenus au Sri Lanka et en Côte-d'Ivoire ont donné des corrélations P-rendement significatives ($r = 0,499^{**}$ au Sri Lanka, et $r = 0,495^{**}$ en Côte-d'Ivoire) pour des teneurs inférieures à 0,130 en P.

Compte tenu de ces résultats, le niveau critique de P fut relevé à 0,120 p. 100 de matière sèche.

Dans les déficiences en phosphore, il faut faire mention particulière de celle de Madagascar sur sables côtiers du Nord-Est, très pauvres en P. Les travaux de recherches réalisés sur de jeunes cocotiers ont montré que le phosphore était le premier facteur limitant du développement et que les apports phosphatés augmentaient le diamètre au collet des plants de 30 p. 100. Corrélativement, la correction de cette déficience en P, améliore l'ensemble de la nutrition et minimise le déséquilibre du rapport N/S, réduisant d'autant les troubles nutritionnels qui pourraient survenir.

Dans ce cas exceptionnel, une surveillance attentive de la nutrition est indispensable.

En général, à l'âge adulte, l'application d'une fumure azotée accroît les teneurs en phosphore dans les feuilles. C'est l'inverse en présence d'une fumure potassique ou magnésienne.

Au stade jeune, l'apport d'azote ne modifie pratiquement pas les teneurs en P, sauf dans une situation aux Philippines sur matériel végétal Nain Rouge où les teneurs en P sont significativement déprimées (BK-CC 6). Les variations peuvent être importantes en présence d'un apport potassique ; aux Philippines, les niveaux de P augmentent fortement ; par contre, ils sont stationnaires en Indonésie, en Océanie et au Mozambique ; ils baissent d'une manière hautement significative en Côte-d'Ivoire.

d) Relations avec les autres éléments.

L'importance des relations entre teneurs en N et en P a été mise en évidence pour l'arachide, l'olivier, le palmier à huile et de nombreuses autres plantes. Cette notion est valable pour toutes les cultures au champ et en particulier pour le cocotier.

Cependant, il est surprenant de constater que, pour cet oléagineux, si cette corrélation existe et est hautement significative pour des feuilles âgées, elle ne se retrouve pas pour la feuille la plus jeune.

Ceci justifie amplement le choix de l'I. R. H. O. d'utiliser

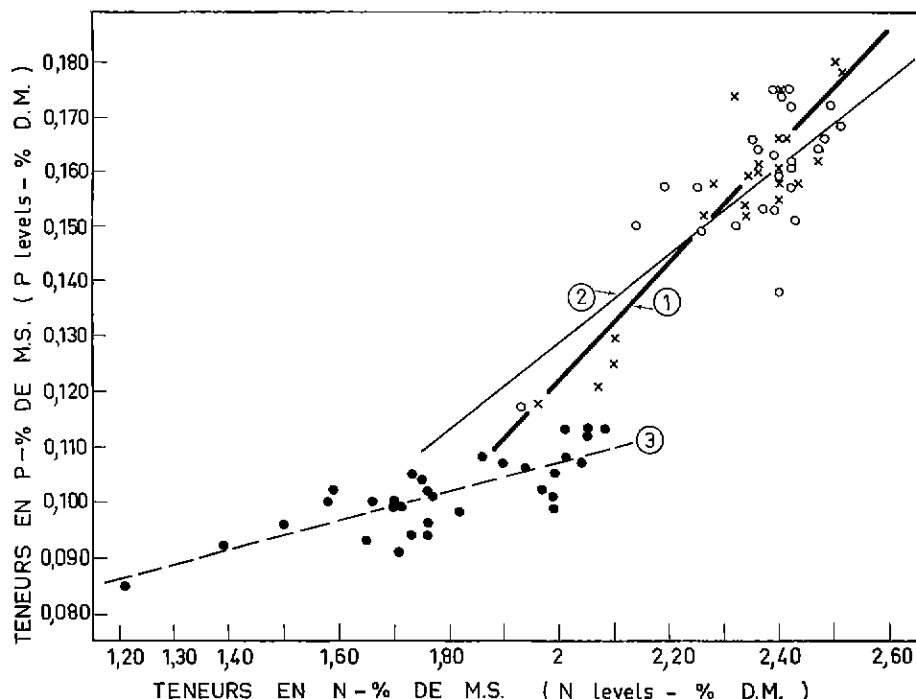


FIG. 2. — Interaction N/P (Hybrides Nains Jaunes — Yellow Dwarfs — D. F.-L. A. 1979; Rang-Rank 14).

- (1) \times PB-CC 16 — N0
— $r = 0,891^{***}$;
 $y = 0,1072 x - 0,0925$;
- (2) \circ PB-CC 16 — N1
— $r = 0,776^{***}$;
 $y = 0,0806 x - 0,0325$;
- (3) \bullet PB-CC 31 — N2
— $r = 0,794^{***}$;
 $y = 0,0264 x - 0,0541$.

TABLEAU VII. — Action des engrais sur la teneur en P et effets des engrais phosphatés
(Action of fertilizers on P level and effects of phosphate fertilizers)

Pays (Country)	Expérience (Experiment)	Rang de la feuille (Leaf rank)	Effet des engrais sur la teneur en P de la feuille (Effect of fertilizers on P level of leaf)					Effets des engrais phosphatés sur la : (Effects of phosphate fertilizers on :)				
			Effet P _{eff} teneurs en P _f (Effect of P _{eff} on P _f levels)	Effet N _{eff} teneurs en N _f (Effects of N _{eff} on N _f levels)	Effet K _{eff} teneurs en K _f (Effects of K _{eff} on K _f levels)	Effet Mg _{eff} teneurs en Mg _f (Effects of Mg _{eff} on Mg _f levels)	production		croissance (growth)			
			(—) P	(—) N	(—) K	(—) Mg	Nbre de noix/ arbre/an (No. nuts/tree/ year)	Coprah/noix (Coprah/nut)	Coprah total/ arbre/an (Total coprah/ tree/year)	(—) P	(—) P	Circonférence au collet (Girth) cm
GRANDS (TALLS)												
Côte-d'Ivoire (Ivory Coast)	PB-CC 1	14	0,103	0,124 **	0,115	0,112	48,5	186	203 *	9,3	9,4	
	PB-CC 3 (1964)	14	0,113	0,122 **	0,118	0,118	50,2	194	191	9,8	11,1 *	
	PB-CC 3 (1970)	14	0,109	0,121 **	0,116	0,115	55,6	213	197 **	11,8	16,9 **	
	PB-C 23	14				0,148	0,145					
Nouvelles-Hébrides (New Hebrides)	CA-CC 1	14		0,159	0,155	0,155	0,154					
	NH-CC 6	14	0,158	0,158	0,159			152	152	17,8	17,8	
	NH-CC 8	14	0,139	0,144	0,142	0,137	93,1	152	147 *	13,7	13,4	
Mozambique	MP-CC 1	14		0,118	0,125							
Madagascar	SB-CC 3	9	0,089	0,123 **	0,110	0,110						
HYBRIDES												
Côte-d'Ivoire (Ivory Coast)	PB-CC 16	4	0,159	0,161	0,159	0,160	0,160	0,160	0,159			84
	25 mois (months)	4	0,182	0,189 *	0,187	0,185	0,185	0,185	0,188			96
	5 ans (years)	9	0,186	0,172	0,172	0,169	0,180	0,167	0,171	10,6	14,0	
	6 ans (years)	14	0,155	0,161 *	0,160	0,158	0,167	0,151 **	0,166 **	85,1	84,0	
	8 ans (years)									58,6	52,8	
	PB-CC 18	4		0,163	0,166	0,166	0,164	0,164	0,164			
	31 mois (months)	14		0,146	0,152 *	0,147	0,149	0,150				
	8 ans (years)	14		0,101	0,106 *	0,105	0,103	0,105	0,103			
Indonésie (Indonesia)	PB-CC 31	4	0,113	0,115	0,115	0,113	0,118	0,110				44,8
	PB-CC 39	4										44,8
	DA-CC 2	4										
Philippines	PNP X	4	0,133	0,140	0,139	0,142	0,141	0,143	0,139	0,140		
Jamaïque (Jamaica)	PH-CC 8	4		0,172	0,172		0,169	0,178 *	0,174	0,172		
	F/13	14	0,136	0,143	0,141	0,141	0,144	0,140				
	F/14	14	0,091	0,098	0,094	0,096	0,094	0,096	161	161	40,2	41,2
							28,0				30,2	
NAINS (DWARFS)												
Philippines	BK-CC 6	4	0,166	0,174 **	0,176	0,168 *	0,174	0,165 *	0,171	0,169		
Côte-d'Ivoire (Ivory Coast)	DA-CC 3	4	0,132	0,134	0,133	0,132	0,136	0,130 *	0,134	0,132		
Jamaïque (Jamaica)	F/9	14	0,076	0,082 **	0,083	0,079	0,079	0,078	0,078	0,080	75,0	75,0

une feuille âgée de rang 14 comme feuille standard de diagnostic foliaire.

Dans les expériences PB-CC 16 où la fumure azotée a eu un effet sur la croissance dans le jeune âge, et PB-CC 31 dont la déficience en azote est assez sévère, l'interaction N-P est hautement significative (Fig. 2). Dans PB-CC 16, la liaison est aussi forte dans les parcelles ne recevant pas d'engrais azoté ($r = 0,891$ ***) que dans celles fertilisées à l'urée ($r = 0,776$ ***) .

La courbe de régression pour l'interaction NP de l'expérience PB-CC 31 ($r = 0,794$ ***) ne se situe pas au voisinage de celles de PB-CC 16, la pente étant nettement différente, et il semble encore impossible de proposer comme pour le palmier à huile une relation linéaire N-P qui aurait permis de préciser les limites des zones excédentaires ou déficientes en N ou P.

Nous avons déjà noté dans le chapitre précédent la liaison existant entre P et K.

A suivre (*).

SUMMARY

Mineral nutrition and fertilization of the coconut around the world.

R. MANCIOT, M. OLLAGNIER and R. OCHS, *Oléagineux*, 1979, 34, N° 11, p. 499-515.

The relative importance of coconut in the production of vegetable fats has shrunk in the course of the last 40 years because insufficient efforts have been made to improve the planting material and to intensify its cultivation.

In particular, mineral fertilization is still an exceptional practice even though it has been shown in many countries that the use of fertilizers is perfectly profitable even on random material. It is true that the coconut groves in the big producer countries have aged and that part of them have reached an age when yield falls and the effect of fertilizers is no longer so intense. So that it is rather more in the framework of the large renovation projects now going on that fertilization can play a major role by enabling the total expression of the potential of the new hybrid material, incomparably more productive.

Potassium, chlorine and nitrogen predominate in the coconut's mineral exports. Responses to potassium fertilization are the most frequent, since the plant does not often have a chance to satisfy its needs completely in tropical soils, usually very poor in nitrogen, responses to nitrogenous fertilization are less frequent; can it be concluded that "invisible" contributions by the rains or by the fixing of atmospheric nitrogen have been underestimated? As for chlorine, which is now considered to be an essential mineral element for coconut, because of its relative abundance in nature deficiencies are generally limited to specific situations, sheltered from the influence of the sea. Phosphorus, magnesium and sulphur also come into play, but they are often implied in multiple responses where both the cation and anion balances have a more important role than with other cultivated plants. In terms of fertilization, this peculiarity of the coconut underlines the care which must be taken in the choice of the salts used as fertilizers.

As regards the trace elements, boron sometimes plays an important part during immaturity, as it does in the oil palm, and a deficiency can provoke the sudden stoppage of growth. Iron and manganese deficiencies are found on coral soils.

It is easy to correct mineral deficiencies in the coconut. Manurings are very profitable and usually give an added value of at least three times the outlay when the balance and the quantities applied are close to the optimum.

The rapid action of fertilizers on root absorption makes the coconut rather sensitive to errors in diagnosis; nevertheless, these can be avoided by using control leaf analysis and by referring to the results of field experiments set up by the support research.

Fertilizer requirements vary greatly according to the quality of the soils used, and the latter range from the poorest sandy soils of the seaboard to the richest volcanic ones. These requirements, in which potassium often predominates, can be reduced considerably by restituting the husks, which consume more than half the potassium taken up by the plant.

Transformed by the advent of the hybrid coconut accompanied by a rational fertilizer policy, coconut growing has become one of the best tools for development and for the improvement of the standard of living of small farmers in the tropical world.

RESUMEN

Nutrición mineral y fertilización del cocotero en el mundo.

R. MANCIOT, M. OLLAGNIER y R. OCHS, *Oléagineux*, 1979, 34, N° 11, p. 499-515.

La importancia relativa del cocotero en la producción de las grasas vegetales ha disminuido durante los cuarenta últimos años, porque no se hizo bastantes esfuerzos para mejorar el material vegetal e intensificar los métodos de cultivo.

La fertilización mineral, en especial, aún sigue una práctica excepcional, a pesar de haberse demostrado en muchos países que el empleo de los fertilizantes era perfectamente rentable, hasta en material vegetal no seleccionado. También es verdad que los cocotales de los grandes países de producción han envejecido, llegando parte de los mismos a la edad de menor producción y de efecto menos intenso de fertilizantes. O sea que dentro de los grandes proyectos actuales de renovación es donde la fertilización puede desempeñar un papel muy importante, permitiendo que el nuevo material vegetal híbrido que es incomparablemente más productivo, exprese totalmente su potencial.

El potasio, el cloro y el nitrógeno predominan en las exportaciones minerales del cocotero. Además las respuestas más frecuentes corresponden a la fertilización potásica, porque los suelos tropicales que suelen ser muy pobres en potasio, atienden muy pocas veces a todas las necesidades de la planta. A pesar de ser también muy pobres en nitrógeno los suelos tropicales, las respuestas a la fertilización nitrogenada son menos frecuentes; ¿Será posible llegar a la conclusión de que los suministros ocultos por las lluvias o por la fijación de nitrógeno atmosférico han sido infravaloradas? En cuanto se refiere al cloro, que ahora se considera un elemento mineral esencial para el cocotero, debido a su relativa abundancia en la naturaleza, las deficiencias suelen limitarse a situaciones particulares protegidas de la influencia marina.

También intervienen el fósforo, el magnesio y el azufre, pero muchas veces están envueltos en las respuestas múltiples en que el equilibrio de cationes y también de aniones desempeña un papel más importante que en otras plantas cultivadas. En lo que respecta a fertilización, esta particularidad del cocotero muestra que se debe seleccionar con mucho cuidado las sales empleadas como fertilizantes.

En lo relativo a oligoelementos, el boro desempeña a veces un papel importante en la edad temprana, como en la palma aceitera, ocasionando la carencia una interrupción repentina del crecimiento; las carencias de hierro y manganeso se observan en los suelos coralinos.

Las deficiencias minerales del cocotero son fáciles de corregir. Los abonados son muy rentables y suelen proporcionar una plusvalía por lo menos triple del gasto efectuado, cuando se los aplica en cantidades y equilibrios próximos al nivel óptimo.

La acción rápida de abonos sobre la absorción radical tiene por resultado que el cocotero sea relativamente sensible a las equivocaciones de diagnóstico que sin embargo pueden ser evitadas fácilmente mediante el uso del análisis foliar de control y refiriéndose a las pruebas de campo establecidas por la investigación de acompañamiento.

Las necesidades de abono son muy variables con arreglo a calidad de los suelos utilizados cuya gama se extiende desde el suelo arenoso más pobre del litoral hasta los suelos volcánicos más ricos. Estas necesidades que muchas veces quedan dominadas por el potasio pueden ser notablemente reducidas por la restitución de las borras que consumen más de la mitad del potasio absorbido por la planta.

El cultivo del cocotero que ha sido transformado por el desarrollo del cocotero híbrido y que viene junto con una política racional de fertilización, ha llegado a ser uno de los mejores instrumentos para el fomento y la mejora del nivel de vida de los pequeños terratenientes campesinos de la zona tropical.

(*) La II^e et la III^e parties de cet article paraîtront respectivement dans les numéros de décembre 1979 et janvier 1980 de la revue *Oléagineux*.

Mineral nutrition and fertilization of the coconut around the world (1)

R. MANCIOT (2), M. OLLAGNIER (3) and R. OCHS (4)

The common coconut has always played the part of a poor relation to the oil palm. In the best growing conditions (yields of 3 tons of copra per ha), the traditional varieties provide 2 tons/oil/ha against 5-6 tons for the oil palm. Furthermore, not only do the plantations give a relatively small yield, but they have the major disadvantage of not being very precocious.

By virtue of its geographical distribution, covering the whole of the intertropical zone of the globe, the coconut interests a large section of the world population, for whom it represents the sole source of fats. In the course of the last 10 years, while the world population increased by 25 p. 100 and total consumption of animal and vegetable fats rose by more than 35 p. 100, the share of copra in this consumption declined appreciably. It is to be expected that in the years to come demand will increase with population growth, and it is to be hoped that there will be an improvement in the living standards of the least favoured classes in the developing countries in the tropical regions.

The coconut has an important part to play.

Whilst research with a view to improving the productivity of this oil plant started more than 60 years ago (the first improvement station saw the light of day in 1916 at Pilicode, in India), it is only in the last couple of decades that considerable progress has been made.

Today, the results obtained show that the coconut is a tree with a future. Thanks to the use of modern growing techniques, it has become an oil plant whose per ha production is approaching that of oil palm (4-5 tons, the same hectare producing only 2 tons of groundnut oil or 0.5 tons of soya oil). In addition, it is frequently grown on very poor soils, where it will not compete with oil palm. Finally, its climatic requirements are not so strict as the latter; in particular, moderate to heavy water deficits its yield less than those of the oil palm [1].

This improvement in yields results from the application of a whole series of modern techniques without which no high yields will ever be obtained. Mineral nutrition is one of them.

And yet fertilization of the coconut is still not current practice. The Philippines, with more than 2.7 million ha, only fertilize about 30 000; in India, a few tens of thousands out of the 1.2 million ha of coconut groves receive mineral manuring. The same applies in all the other countries where the coconut is grown, with a few exceptions like the Ivory Coast.

The wide extension of high-yielding Dwarf \times Tall hybrids could revolutionize coconut growing everywhere, but the absence of fertilization will stop them expressing their full potential, all the more so in that such high production is inevitably accompanied by a corresponding increase in the uptake of mineral elements from the soil.

I. — THE ENVIRONMENT

1. — Geographical distribution of the coconut.

The tree most widely grown in the world, the coconut is found in the whole intertropical zone, where its climatic needs are satisfied. Considered as an important source of liquid for consumption by man, the nut has played a great part in the dispersal of the tree, and this is why it is found in very marginal zones where poor rainfall (Cap Verde Islands) or low temperatures (New Caledonia) severely limit its production; but in these regions it is no longer of any economic interest.

In spite of the development plans launched in Africa and America, the coconut is still mainly an Asiatic and Oceanian crop. The Philippines, India, Indonesia, Sri Lanka and Malaysia alone account for nearly 7 million ha, or 90 p. 100 of the area planted to coconut in the world.

The coconut's climatic needs are very similar to those of oil palm. The observation of the conditions in which coconut growing develops around the world and the early results of experiments undertaken in the most marginal regions make it possible to define these requirements. The coconut grows well when the rainfall is as regular as possible, the ideal being 150 mm per month, or 5 mm per day, an amount equal to that of the monthly evapotranspiration and equivalent to an annual rainfall of 1 800-2 000 mm. However, this palm can also develop normally with less rain where the water deficit is compensated by the soil mois-

ture reserve or by a high water table. On the other hand, it must be mentioned that the coconut fears excess moisture.

Temperature also limits the extension of the coconut; 27 °C is considered the optimum. Below 15 °C the life of the plant is perturbed and its physiology influenced. If low temperatures are frequent (Loyalty Islands), the nuts fall and the developing fruit suffer deformations which considerably reduce copra yield.

As the coconut is grown in sunny regions, it was accepted that 2 000 hours of sunshine annually were necessary. But in certain areas which have no more than 1 800 hours (New Hebrides), coconuts give excellent yields when the soil conditions are good.

2. — Soils of the Producer Regions.

Because of its great adaptability, the coconut is found on the most varied soils, and these fall into six main types:

Sandy coastal soils.

These are the coastal sands, very poor in organic matter and in colloids, with poor retention capacity but compensated by a very low wilting point, nonetheless occasionally leaving more available water than certain clay soils (I. R. H. O. Annual Report 1976-77); they have the advantage of being aerated and well-drained. They are poor in mineral elements and need adequate fertilization. This type of soil occurs in practically all the coconut plantations in West Africa and Madagascar; they are also found in India, in Malaysia (East Coast), in the Philippines and in many other regions.

Coral soils.

Pebbly or gravelly, more or less poor in organic matter, the coral soils are very rich in limestone. They cover most of the atolls (Polynesia). Their fertility depends on the amount of organic matter and the degree of weathering; they can be overlaid by a varying thickness of alluvial soils, which makes them very fertile (New Hebrides, Solomon Islands).

Lateritic soils.

Rich in iron and aluminium hydroxides, they result from intense leaching of the silica and the exchangeable bases. They are often short of potassium and phosphorus; their aptitude for coconut growing depends on the degree to which concretions have formed (water supply).

Alluvial soils.

The fluvio-genetic soils are often very good for coconut. Their richness obviously depends on the nature of the rocks traversed by the rivers which formed them.

This type of soil is often found in India in the Godavari delta, in Sri Lanka, in the Philippines and in Mexico (Guerrero).

In Indonesia, the marine alluvions (Selangor series) are favourable to coconut growing.

Volcanic soils.

Often very fertile, these are found mainly in Indonesia (Sumatra, Java, Bali) and in the Philippines.

Peat soils.

They cover large areas and are frequently uncultivated because of the very special problems which they occasion. A few small coconut groves can be found on them, but they could offer considerable development possibilities for the future on condition that the necessary studies are taken with a view to their improvement (deficiencies in K, Cu, B; pH very acid).

It will be seen, therefore, that the coconut adapts itself very well to the most varied soils. It is difficult to define the ideal soil exactly, each case being a special one. Generally speaking, the physical support is as important as the chemical richness of the soil, the coconut reacting very well to mineral fertilization, which is a very reasonable financial investment, whereas the modification of the physical qualities sometimes calls for considerable outlay.

If the coconut is often seen growing on even very poor sandy soils, it is because it finds an aerated and properly drained substratum. But it will take to sandy clay or even very clayey soils on condition that the recovery of the stagnation of the water table remains at a fitting level of 0.90 m [1]. In certain regions this minimum depth of healthy soil gives the trees better resistance to gusts of wind. The presence of coarse elements (lateritic gravel) or a compact horizon (coral slab) hinders the development of the

(1) Communication presented to 5th Session of the F. A. O. Technical Working Party on Coconut Production, Protection and Processing, 3-8 dec. 1979, Manila (Philippines).

(2) Coconut Department, I. R. H. O., 11 Sq.-Pétrarque, 75016 Paris (France).

(3) Director of Research, I. R. H. O., Paris.

(4) Director, Agronomy Department, I. R. H. O., Montpellier.

roots in depth and consequently limits the useful reserves of water and mineral elements.

All textures are suitable for coconut except for extremes such as pure, leached sands and certain very clayey, compact soils.

The coconut is not very demanding as regards the chemical value of the soil, and for this reason the poorest soils are often planted to coconut because they are unfavourable to other crops. Let us say here that the coconut supports a pH of 5-8, although in the most alkaline soils nutrient imbalances provoke iron deficiencies (coral atolls).

In lateritic tropical soils, kaolin clay-bearing and generally desaturated, fertility depends essentially on the organic matter, often localized in the first 20 or 30 cm.

The accepted threshold values are as follows:

	Lowest value considered satisfactory
— C (p. 100)	1
— N (p. 1 000)	1
— C/N	10-12
Absorbant complex (me/100 g)	
— K { with Mg/k > 2.5	0.15-0.20
— Mg {	0.20-0.50
Sum of exchangeable bases (me/100 g)	1
Phosphorus	
— P total (ppm)	400
— P Olsen	25
— P Saunders	100

For soils of alluvial or volcanic origin, with swelling clays of the illite or montmorillonite type and deeper, the reserves in the layers further down can be taken into account, as the tree has a bigger mass of soil at its disposal. A volcanic soil with 0.1 me K down to 0.8 m will be chemically better as regards K than a lateritic one with 0.2 me K in the 0.30 cm horizon only.

Table I gives the physical and chemical characteristics of a few of the soils in which coconut is grown.

3. — Mineral nutrition. Methods of study.

In 1958, Nathanael [3] distinguished three approaches to the study of the coconut's mineral nutrition:

— the first method is to define the needs of the plant with the aid of agronomical experiments and by successive approximations. Coconut growing does not lend itself very well to this operation which, because of the low planting density (between 150 and 180 trees/ha), entails heavy expenditure on planting and management without solving all the problems for all that;

— analysis of the soil is the second method recommended. It does not take account of the plant's reactions and the interpretation remains tricky;

— the third method interrogates the plant directly by means of chemical analysis of the coconut water and the leaves (foliar diagnosis). Analysis of the coconut water is said to have enabled Salgado [4] to study the effect of potassic fertilization on yields. Experiments made in the Ivory Coast proved that there was indeed an analogy between leaf analysis and analysis of the coconut water, the latter giving a good reflection of the considerable action of potassic fertilizer on yields. However, by reducing the number of trees sampled, analysis of the water is subject to much larger variations than leaf analysis, so that it requires much bigger sampling than the latter and gives less precise information on the action of manurings.

It is for these reasons that the analysis of coconut water did not take over from leaf analysis.

More recently, Ollagnier, Ochs and Martin [5], in a paper of oil palm manuring around the world, described two possible methods for studying the mineral nutrition of that oil plant:

— the first deals with the balance of nutrient element uptake, with all the practical difficulties and imprecisions that implies;

— the second is based on experiments in the field, and analysis of the plant makes it possible to define the level of deficiency or surplus of the nutrient elements. It is much more accurate than the first method and, given the present level of research, gives a good picture of the effect of manuring on vegetative development and yield.

We will deal one by one with the last two methods, the ones which have been most used by researchers, whilst giving more importance to the second.

a) Uptake of nutrient elements.

Numerous studies have been undertaken to determine the quantity of nutrients taken up by the coconut. Frémond et al. [7] recall the results obtained by Jacob and Coyle in 1927, Eckstein in 1937 and Pillai and Davis in 1963 [6] (Table II).

Expressed in absolute values, the differences between the authors appear to be large. However, it is interesting to note

that there is a certain similitude between the figures of Eckstein and those of Copeland.

Unlike the other researchers, Ouvrier and Ochs worked on hybrid material. Line 6 of Table 2 gives the nutrient uptake for all the bunches in an annual production of 6.7 t/copra/ha, whilst line 7 shows the uptake for the palm (trunk and foliage as well as yield). The difference between the two is the annual immobilization in the trunk and foliage.

For its trunk and leaves the coconut consumes more calcium (61 kg against 9 kg for yield), magnesium (24 kg to 15 for yield), sodium (34 kg to 20 kg) and sulphur (21 kg to 9 kg). For chlorine the uptake is practically equal: 125 kg for yield and 124 kg for the production of stem and leaf.

The biggest removal in the nut harvest is potassium, with 193 kg. The estimate of chlorine taken up for yield is 125 kg, which makes it the second most important element, coming before nitrogen, which amounts to 108 kg. All the other elements account for 10 to 20 kg.

Ouvrier, to make a comparison with Copeland's estimates, worked out the uptake of a variety of hybrid producing 1.5 t of copra/ha/year. The figures are given in line 5 and compared to those in line 4. There is a similarity between removals by the Tall variety and those of the Dwarf × Tall hybrid.

For the same yield, there is no difference in uptake between hybrid or Tall coconuts.

b) Diagnosis of mineral deficiencies.

As for the oil palm [5], foliar diagnosis proves the easiest and most accurate way of studying mineral nutrition.

Indeed, when the agronomists took an interest in fertilization in a tropical zone, they ran up against numerous problems. In particular, the comparison of soil analyses in a temperate or tropical environment led to mistaken interpretations. The experience accumulated in a temperate climate could not be transposed to a tropical one. The diagnosis of nutrition by soil analysis came up against the microheterogeneity of this environment and the difficulty of appraising assimilability. To these purely agricultural considerations were added preoccupations of an economic nature. Tropical soils generally appear poorer than those of the temperate regions, and the plants grown in the former were originally considered low yielders, so that it was not possible to promote fertilization of tropical crops without having a simple analysis method giving quick results and the interpretation of which could enable the information drawn from experimentation to be generalized to a certain extent.

This is why the I. R. H. O. returned to the work of Chapman and Gray [10] on foliar diagnosis, applying it to tropical oil plants (groundnut, oil palm and coconut) [11].

For the coconut, following leaf analysis results in 1952 it appeared that the potassium levels were probably low in Ivory Coast; a first fertilizer trial was set up. After polish manuring had been given for three years running, leaf analysis showed that the K level had risen from 0.165 p. 100 to 0.492 p. 100 of dry matter and that, at the same time, the number of nuts/tree had increased from 58 to 89. As far as the coconut was concerned this was the first demonstration of the advantage of foliar diagnosis in determining deficiencies.

The method consists in measuring the concentration of nutrients in the leaves and comparing them to critical values, themselves defined as the level of a nutrient below which application of the appropriate fertilizer has every chance of provoking a profitable increase in yield.

These critical levels have been worked out by comparing the many results of field experiments. In its last Annual Report (1976-1977), the I. R. H. O. determines such levels on the basis of the graphic relationships between fertilizer rates, yield responses and leaf contents. However, the action of one element is not always independent of the others, and interactions had to be taken into account.

The arrival of the hybrid coconut meant that new fertilizer trials had to be set up. If the general trend of liaisons between elements could appear more or less identical in both Tall and hybrids, it was not certain that the level of production expected from the hybrids would not alter the mineral balances of the tree. For example, the remarkable effect of the combined action of potassic and magnesian manuring on the hybrid has been amply demonstrated by now, whereas it is insignificant on the traditional planting material. Although the study is not yet definitive, it is also recognized that the nutrient levels are not the same in the Tall varieties as in the Dwarfs; within the Dwarf varieties there are also far from negligible differences which need to be defined. Finally, research has concluded that mineral manuring is of the greatest interest in immaturity; the corresponding critical levels are determined in function of responses in vegetative development (height, number of leaves, girth, vigour index) obtained in experimentation.

The critical levels worked out for the West African Tall variety are as follows:

N = 1.8-2.0	K = 0.8-1.0
P = 0.120	Mg = 0.24.

They probably apply, by and large, to most of the Tall varieties. Table III gives the critical levels proposed for the hybrid

P-B 121 (Malayan Yellow Dwarf \times West African Tall) according to the earliest results of experiments set up in the Ivory Coast in 1970.

The critical level of K in the peak production period has not yet been determined experimentally; certain indications suggest that this level will be lower than that in immaturity, and approaching the critical level for Tall material. The critical level of magnesium is likely to evolve in correlation.

As regards the critical levels of N and P, these will also be determined experimentally when the trials most recently set up on soils deficient in nitrogen and phosphorus start bearing; the levels given in Table III are not definitive and can be considered rather as optimum values from the physiological view point.

It is found that the nitrogen levels increase slightly with age, whereas those of phosphorus and potassium fall; the Mg levels vary little.

Comparing the Tall varieties and the hybrid P-B 121, the phosphorus contents are identical, nitrogen and potassium are higher in the hybrid; on the other hand, the P-B 121 seems to be satisfied with a lower Mg content, at least before it reaches maximum production.

The critical levels for Ca and Na have not been worked out, as no response to these two elements has yet been obtained in the experimental network.

For chlorine, Ollagnier, Ochs and Daniel [12] have shown that the coconut responds well to chlorinated manuring when the initial levels are very low; 0.3 p. 100 is a threshold below which yield responses to Cl applications are certain, 0.5 p. 100 probably being the optimum value.

It will be seen that leaf analysis is a good means of studying mineral nutrition. It is the foundation stone of the work undertaken by the I. R. H. O., and many other scientific bodies in the world have now adopted it for coconut. However, the experiment network on Talls, whose production is mediocre, is still much more developed than that on hybrid material.

In effect, while the agronomists were applying themselves to finding the best-balanced manuring for getting the biggest yields out of the Talls, thus providing a short-term answer to the preoccupations of the planters, the geneticists were attempting the long-term improvement of this variety by mass selection then hybridization between varieties geographically distant.

Because of the big increase in yield recorded on hybrids, the fertilizer rates recommended for traditional varieties became insufficient. New experiments were therefore started in different parts of the world, as the big development projects will consecrate most of their areas to this new material.

For the traditional varieties, a certain number of fairly old experiments were chosen; on the contrary, the trials on hybrids are recent, but the older ones have led to interesting conclusions as to the future. Table IV gives the plans of the main experiments mentioned.

II. — STUDY OF NUTRITION ELEMENT BY ELEMENT

1. — Nitrogen.

In plant physiology nitrogen is indispensable as a constituent of the amino-acids [13], proteins and nucleic acids. A shortage of nitrogen makes itself felt throughout the coconut's physiology and provokes a big drop in yield.

a) Deficiency symptoms.

The critical level of N in a leaf of rank 14 can be fixed at 1.80-2.00 p. 100 of dry matter for Tall varieties, and 2.2 p. 100 for the hybrid P-B 121. Below this value N nutrition is not assured, which leads to anomalies exteriorized by deficiency symptoms.

In the first stage, there is slight and continuous yellowing of all the foliage; the tree no longer has the frank green colour characteristic of a good nutrient balance.

In a more advanced state, the young fronds are pale green, giving the leaflets a dull appearance; the severely discoloured old leaves may become a uniform golden yellow. Many bunches abort, and the number of female flowers per inflorescence is small (rarely more than one spadix branch).

In the last stage of deficiency the coconut seems affected by a sort of dwarfing; as it grows, the stem narrows gradually to a 'pencil point', the leaves in the crown are few and short.

b) Causes.

The causes of nitrogen deficiency in the coconut are now well known, and are of three sorts:

— low rainfall (State of Guerrero, Mexico, Benin, Mozambique) or one which is badly distributed, influences the N levels by reducing the nitrification time and the length of activity of the absorbant root system;

— soil conditions unfavourable to the mineralization of organic matter; this is the case of the coral soils of the Polynesian atolls, the coral lands of the New Hebrides, or white sands leached

by a very high water table; the same thing can happen in rich soils (Philippines, Indonesia);

— faulty maintenance encouraging the spread of grasses, especially Imperator, all big consumers of nitrogen.

A nitrogen deficiency is fairly common; it can also result from exhaustion of the soil by many years of cropping (India, Philippines), but when the nitrogen nutrition is found to be deficient, it is a good idea to find out what exactly is the main cause.

Coomans [14] in particular has shown that N nutrition depends directly on rainfall. On the Mare-Delorme Station in the Ivory Coast there is a significant negative correlation ($r = -0.57^{**}$) between N levels and the cumulative water deficit for the previous three months (Fig. 1). The same relationship has been found in the Malagasy Republic ($r = -0.48^{**}$) on the Ankivanja Research Station.

c) Correction by mineral manuring.

The I. R. H. O. achieved the best correction of nitrogen deficiency in Mozambique [15], with yield increased by 30-40 p. 100 according to the years. In a first factorial 2^3 experiment studying N, K and Mg (MP-CC 1), fertilizer applications had no effect on levels, and the action of N on the number of nuts was not very marked (Table V). As the nitrogen deficiency was evident, a new trial was set up to compare various treatments with legume covers, hoed in or not, with and without fertilizer. The legume cover gave good results, acting on the number of leaves and their colouring.

However, the legume is often deteriorated by factors which are difficult to control (nematodes, caterpillars, shade), consequently fertilizer applications were started again, but taking the date of spreading into account. Experiment MB-CC 4 showed that spreading at the start of the rainy season was best (the number of nuts per tree/year increased by more than 40 p. 100). This result is closely linked to the activity of the superficial root system, destruction of which during the dry season considerably slows down absorption (symptoms of nitrogen deficiency are frequently noted at the end of the dry season when leaf analysis revealed no signs of them a few weeks earlier). The rainy season stimulates a new growth of the leaf mass, and it is at this moment that the mineral elements must be provided, to keep up with this growth and facilitate absorption of the nitrogen.

Ramanandan and Pillai [16] find the same thing in India when they compare treatments, cultivated or not, with and without manuring, through the seasons. The variations are not significantly different, but the authors do not indicate whether they decided to take their leaf samples at the beginning or the end of the rainy season.

It was also with the object of pinpointing the best time to apply manuring that the I. R. H. O. set up trial PB-CC 18 on Yellow Dwarf hybrid material; it compares the effects of two rates of urea, of potassium chloride and of kieserite applied before or after the rainy season, split or not. The nitrogenous fertilizer had a significant effect on the number of nuts per tree/year and the copra per tree, although the copra/nut was significantly depressed.

In Malaysia a good response to nitrogenous fertilizer was obtained by Khoo Kay Thye et al. [17] on coastal clays (Kang Kong series) planted to Red Dwarf. The authors noted better vegetative development (length and area of the leaves), an increase in the number of nuts but a drop in the quantity of copra per nut. Even so, the balance is positive, with an increase of 26 p. 100 copra per tree/year.

Kunhi Mulyar and Nellai [18] in India come to the same conclusion as regards the effect of nitrogen on copra/nut. Whilst the nitrogenous fertilizer significantly increases the number of nuts (17 p. 100 in the case of the experiment), it also depresses copra/nut very significantly.

Treatment	Copra per nut(g)
N0	179
N1	165 **
N2	162 **

** Significant to 1 p. 100.

Pomier [19, 20] shows that on coral soil, once the iron and manganese deficiencies are corrected, nitrogen becomes the limiting factor, but that the only means of raising the levels is to plant a legume, as the soil formed of very coarse elements has great difficulty in retreating the fertilizers.

Like the authors quoted above, the I. R. H. O. has often found a depressive action of nitrogen manuring on copra/nut. However, this effect seems to be closely connected to the potassium levels. In fact, for low K contents, ammonium sulphate reduces the number of nuts and the copra/nut, but as soon as the potassium deficiency is corrected, the nitrogen favours the number of nuts whereas the depressive effect on copra/nut persists [21].

For the last few years the I. R. H. O. has been studying the effect of different anionic forms of fertilizer on coconut yield. Treatments where the cations are given in nitrate form have always given the best nut yield.

Form of fertilizer	Levels in frond 14	Yields			
		No. nuts/tree p. 100		Copro/tree kg p. 100	
KCl	1.873	61.6	(100)	12.6	(100)
K ₂ SO ₄	1.940	67.6	(110)	13.8	(109)
KCl + MgCl ₂ ...	1.912	63.6	(103)	13.1	(104)
K ₂ SO ₄ + MgSO ₄	1.940 *	62.1	(101)	12.8	(101)
KCl + NaCl ...	1.928	57.0	(92)	12.7	(101)
KNO ₃ + NaNO ₃	2.047 **	88.5 **	(144)	16.9 **	(134)

Nevertheless, it is on young coconuts that nitrogen manuring has given the most characteristic results, both on Talls and on Dwarfs or hybrids.

In Jamaica, Smith [22], working mainly on Dwarfs, obtains an increase in growth (height) and development (number of leaves) by the application of nitrogenous fertilizer.

More recently, numerous I. R. H. O. experiments in the nursery and young plantings have made it possible to work out manuring schedules in which it is shown that nitrogenous fertilizers have a far from negligible role to play.

On the hybrid between Malayan Yellow Dwarf and West African Tall (P-B 121), it is again the nitrates which have given the finest plants in the nursery. In a trial conducted on quaternary sandy soils in West Africa (Ivory Coast), various measurements taken at 6 months old show that:

- the N contents of the control are low and nitrogenous fertilizer raises the level in the leaves, this increase being greater with urea and ammonitrate than with ammonium sulphate;
- ammonitrate very significantly increases the number of leaves and of leaflets and the girth;
- urea only improves foliage development by 4-6 p. 100;
- ammonium sulphate increases the number of leaves by only 4 p. 100.

Table VI gives these results; it will be seen that the best N nutrition, which improves growth, causes the dilution of the K levels in the leaves.

At the age of 12 months, these effects are confirmed:

- ammonitrate increases the weight of the plant by 19 p. 100, but the foliage benefits most from this (+ 51 p. 100 for the leaves and + 37 p. 100 for girth) than the root system (+ 14 p. 100 only);
- urea, on the contrary, acts very strongly on root development (+ 56 p. 100), where the root hairs are much denser, the weight increase being due mainly to the larger number of roots and not to their thickness;
- ammonium sulphate does not change the fresh weight of the plant.

Always on the hybrid P-B 121, and particularly in experiment PB-CC 16, the I. R. H. O. has confirmed the positive and significant action of a nitrogenous manuring on the growth and development of young coconuts; those receiving such fertilization have a girth significantly greater than that of unmanured plants. By the third year this effect is very much attenuated, and at maturity it is no longer visible.

In replanting, mineral nitrogen can have a spectacular effect on precocity of flowering; this is the case in experiment PB-CC 31 in the Ivory Coast, where the soil is considerably exhausted and where a dense grass cover persists.

In conclusion, the nitrogen deficiency exists, although it is not very frequent. It has often been studied on Tall material and the researchers have obtained responses to mineral manuring. However, it is indispensable, when faced with a nitrogen deficiency, to find out exactly what is causing it, the most economical practice not necessarily being the use of a nitrogen fertilizer.

The development plans often reason in function of a more precocious and higher yielding hybrid material. Results on this type of material suggest that in certain cases nitrogen manuring is an excellent motor for the growth and development of young plants. Leaf analysis is a very good working tool for finding out possible deficiencies.

d) Relations with other elements.

There are close relationships between the nitrogen levels and those of other elements.

In particular, we saw in the previous chapter that in the Ivory Coast the action of nitrogenous fertilizer can be subordinate to the potassic nutrition. However, Ollagnier and Ochs [23], in the study of the NK interaction which they undertook on tropical oil plants, conclude that the absence of a clear interaction (defined with N and K, which separately increase yields, and the association NK, which gives bigger yields than N + K) may be the

consequence of the small number of N deficiencies and the very slight action of potash on N metabolism; they also consider that the use of more productive planting material will have a considerable influence on nitrogen requirements and will bring marked interactions to light.

The hybrid P-B 121 does indeed seem to be a bigger nutrient consumer than its Tall parent, but this is normal in view of its precocity and yield; but for the moment there is no evident interaction between nitrogen and potassium in the Ivory Coast.

In the rest of the world, experimentation on Dwarf × Tall hybrids is still too recent to provide an answer about the NK interaction, but it is certainly in the zones of severe nitrogen deficiency that this interaction could be brought out.

Finally, the close liaison between N and P must be mentioned.

2. — Phosphorus.

Phosphorus uptake is small (15-18 kg), one-tenth of the uptake of potassium or chlorine. Nevertheless, phosphorus is important because it enters into the regeneration of adenosin triphosphoric acid and in the constitution of the phosphoro-proteins. It is usually abundant in the young organs; the study of P levels in function of leaf rank [24] shows higher contents in the youngest leaves (0.160 p. 100 for a leaf of rank 4).

The critical level for a leaf of rank 14 is 0.120 p. 100 dry matter.

a) Deficiency symptoms.

Phosphorus deficiency is rare in coconut.

There are no particularly characteristic visual symptoms, apart from slowing down of growth and shortening of the fronds.

b) Causes.

The quaternary coastal sands of the Ivory Coast and of West Africa in general, on which a response to phosphated manuring has been recorded, have a native content of 25 ppm total phosphorus. The tertiary sands are better off, with contents ranging from 120 to as much as 500-600 ppm. Above 120 ppm, leaf analysis of P gives levels over 0.120 p. 100, and phosphated manuring does not increase yield.

The liparitic latosols of North Sumatra on which there are big responses to P on oil palm should also prove deficient for the coconut; their total P content is between 100 and 300 ppm.

Because of the close N-P liaison, nitrogen-deficient nutrition can lead to a fall in the phosphorus levels.

The application of potassic manuring very often provokes a drop in leaf phosphorus.

c) Correction by mineral manuring.

Only a few examples of the favourable action of phosphated fertilization are known, in Madagascar, India, Sri Lanka and the Ivory Coast. In the last three countries, it is only after several years' manuring that phosphorus increases the nut yield to any significant extent. Phosphorus does not take immediate effect, as the coconut's requirement is small [25] and in many cases it is necessary to wait until the soil is exhausted before the action of the mineral manuring becomes evident.

It was after 26 years of fertilizer applications that phosphorus had a significant effect on yield in one experiment in Sri Lanka. In experiment PB-CC 3 in the Ivory Coast [27], the I. R. H. O. only had to wait 12 years! (Table VII).

In their monograph, Menon and Pandalai [28], although they speak of the probable favourable action of phosphorus in association with potassium on the quality of production, do not mention any work which has proved the advantages of phosphated manuring. But it must be said that when they were writing, the experimenters were using compound NPK fertilizers, and it was impossible to dissociate the action of any one element.

It is only recently that experiments have made it possible to situate the phosphorus deficiency and eventually the profitability of manuring. The application of phosphated fertilization is very often accompanied by a significant increase in the leaf P levels.

In the I. R. H. O. experiment mentioned above, potassium applications increase the phosphorus contents very significantly. The effect on production is through the increased number of female flowers.

Originally the critical level was fixed at 0.100 p. 100 of dry matter. Results obtained in Sri Lanka and the Ivory Coast give significant P/yield correlations ($r = 0.499^{**}$ in Sri Lanka and 0.495^{**} in the Ivory Coast) for P levels below 0.130. In view of this the critical level was raised to 0.120 p. 100 dry matter.

Amongst the P deficiencies, special mention must be made of those in Madagascar on coastal sands in the North-East, very poor in this element. Research done on young coconuts has shown that phosphorus is the prime limiting factor for development, and that phosphate applications increase girth by 30 p. 100. Correlatively, the correction of the P deficiency improves overall nutrition and minimizes the imbalance of the N/S ratio, likewise reducing any nutrient disorders which might occur.

In this exceptional case, attentive surveillance of the nutrition is necessary.

At maturity, nitrogenous manuring usually raises the leaf P levels. The opposite happens with potassic or magnesian fertilization.

During immaturity, N applications have practically no effect on the P levels, except in one situation in the Philippines on Red Dwarf (BK-CC 6), where P is significantly depressed. There can be wide variations when there potassic fertilizer has been applied ; in the Philippines the P levels rise considerably, whilst they are stationary in Indonesia, Oceania and Mozambique and drop very significantly in the Ivory Coast.

d) Relations with other elements.

The importance of the relationship between N and P levels has been demonstrated on groundnut, olive trees, oil palm and numerous other plants. This notion holds good for all field crops and particularly for coconut.

However, it is surprising to find that with this oil plant,

while there is this correlation and it is highly significant for the old leaves, it does not occur in the youngest. This amply justifies the I. R. H. O's decision to use an old leaf of rank 14 as the standard foliar diagnosis leaf.

*In experiments PB-CC 16, where nitrogenous manuring had an effect on growth in immaturity, and PB-CC 31, in which the nitrogen deficiency is fairly severe, the N-P interaction is highly significant (Fig. 2). In PB-CC 16, the liaison is just as strong in the plots getting no nitrogenous fertilizer ($r = 0.89^{**}$) as in those getting urea ($r = 0.776^{***}$).*

*The regression curve for the N-P interaction in experiment PB-CC 31 ($r = 0.794^{***}$) does not lie close to those of PB-CC 16, the slope being very different, so that it is not yet possible to propose, as for oil palm, a linear N-P relationship which would make it possible to define the limits of surplus or deficiency zones for N and P.*

We have already noted the liaison between P and K in the previous chapter.

To be continued (*)

(*) The 2nd and 3rd parts of this article will be published in the December 1979 and January 1980 numbers of *Oléagineux* respectively.



Congrès, Salons, Expositions

— 1980 —

Salon International de la Machine Agricole — 2-9 mars 1980, Paris (France).

Les visiteurs originaires des pays tropicaux qui viendront étudier du 2 au 9 mars 1980, au Salon international de la Machine agricole à Paris, les matériels de toute nature, originaires de 30 pays, y trouveront diverses manifestations techniques plus particulièrement organisées à leur intention par le C. E. E. M. A. T.

Mercredi 5 mars (9 h 30-17 h 30) : Journée « Séchage et stockage » des céréales (riz, maïs, mil, sorgho), des haricots et de l'arachide, du café, du cacao et du manioc.

Judi 6 mars (9 h 00-17 h 30) : Exposés, visites et discussions sur le « Travail du sol avec les outils à dents et sur les applications possibles en pays chauds ».

Vendredi 7 mars (9 h 00-12 h 00) : Colloque à propos de « Quelques exemples de mécanisation dans les récents complexes sucriers africains ».

Pour tous renseignements, s'adresser au Salon International de la Machine Agricole, 24, rue du Pont, 92522 Neuilly sur Seine, Cedex (France).

European-American Commodities Conference — 3-4 mars 1980, Hilton International, Londres (Gde Bretagne).

Ce congrès est organisé par la New York University, School of Continuing Education, Division of Career and Professional Development. Son objectif est de procéder à une analyse critique des marchés des produits aux Etats-Unis et en Europe, pouvant servir de guide aux industriels, acheteurs, organismes financiers.

Pour tous renseignements, s'adresser à : Commodities Conference, c/o Conference Associates, 34 Stanford Road, London W8 5PZ (Great Britain).

International Conference on natural fibres : their processing, utilization and marketing with particular reference to developing countries — 10-14 mars 1980, Church House, Westminster, Londres (Gde Bretagne).

Cette conférence, organisée par le Tropical Products Institute, de Londres, concerne le traitement, les utilisations et la commer-